MAX

4 A

NOVA

HAVO

Natuurkunde



NAAM EN KLAS:

MALMBERG



NATUURKUNDE

4 HAVO
Deel A

Auteurs
Rick Cremers
Louis Lenders
François Molin

Eindredactie
Emile Verstraelen

Met medewerking van
Fons Alkemade
Bart-Jan van Lierop



Release 2021
Malmberg 's-Hertogenbosch

www.malmberg.nl/nova-natuurkunde

Inhoud Deel A

Inhoud Deel B

*keuzestof schoolexamen

Voorwoord

Nova is op zo'n manier opgebouwd, dat je de stof vanuit verschillende invalshoeken kunt benaderen. Elk hoofdstuk bestaat namelijk uit drie delen:
P: de praktijk; voorbeelden van toepassingen van de theorie.
T: de theorie; uitleg over natuurkundige concepten, modellen en experimenten. Aan het begin van iedere paragraaf staan leerdoelen vermeld. Deze zijn afgeleid van de eindtermen uit de syllabus, waarin staat wat je voor je centraal examen allemaal moet kunnen. Ook de keuzehoofdstukken (voor de schoolexamens) hebben leerdoelen.
M: de maatschappij; waarom is kennis van de theorie belangrijk voor jou, als onderdeel van die maatschappij?
Bij alle drie de delen horen opdrachten.

Jouw eigen werkwijze

Je begint elk hoofdstuk met enkele oriënterende opdrachten in het boek. Deze opdrachten gaan over stof die je al eerder hebt geleerd en die je weer nodig hebt bij dit hoofdstuk. Wil je meer oefenen met voorkennis? Maak dan ook de digitale voorkennistoets. Vanzelfsprekend bepaal je samen met je docent hoe je de stof uit het hoofdstuk daarna gaat behandelen. Je kunt op verschillende manieren met *Nova* werken.

1 Vind je het belangrijk om eerst de **theoretische concepten** te bestuderen, om daarna te kijken hoe die theorie in de praktijk en de maatschappij wordt gebruikt? In dat geval begin je met het T-deel en doe je daarna het P-deel en een M-deel.
2 Ben je vooral geïnteresseerd in **toepassing**, begin dan met het P-deel. Daarna doe je het T-deel en een M-deel.
3 Wanneer je interesse vooral uitgaat naar het belang van natuurkunde voor de **maatschappij**, begin dan met een van de M-delen. De M-delen worden uitsluitend online aangeboden. Vervolgens doe je het P-deel of ga je direct naar het T-deel

Iedereen sluit af met het beantwoorden van de eindopdracht aan het einde van het T-deel. Indien je de theorie voldoende beheerst, moet je de opdrachten van het P-deel kunnen maken.

Opdrachten

De opdrachten kennen een verschillende opbouw. Voor sommige opdrachten staat een **+**. Dat zijn extra pittige opdrachten. In een aantal paragrafen zijn examenopgaven opgenomen. Soms zijn ze bewerkt ('*naar*'), soms zijn ze letterlijk overgenomen ('*bron*'). Zo word je goed voorbereid voor het examen. Als er een ⌛ staat, heb je te maken met een opdracht uit de natuurkunde-olympiade. Bij havo komt dat zelden voor, bij vwo gebeurt dat vaker. Dit zijn uitdagende opdrachten waarvoor je de theorie vaak op net een andere manier moet toepassen.

Oefenen

Was je in staat de opdrachten van het P-deel op te lossen, maar wil je toch nog kijken of je de stof echt beheerst? Maak dan de **Test jezelf**. Besef dat de **onthoud!** aan het einde van de paragraaf slechts dient om de kern van de paragraaf nog eens aan te geven. Deze samenvattingen volstaan NIET om een toets voor te bereiden. Om te controleren of je de begrippen uit dit hoofdstuk beheerst, kun je de online **flitskaarten** gebruiken.

Wij wensen je succes en plezier met *Nova*!

De auteurs



HOOFDSTUK 1

Beweging

Verkeer, sport, ruimtevaart, zomaar een aantal onderwerpen waarbij alles draait om beweging. Bij een sprint wil je de grootst mogelijke snelheid behalen, bij een marathon wil je juist zo lang mogelijk een snelheid handhaven. In het verkeer kom je borden met snelheidsbeperkingen tegen en zijn er voorschriften voor maximumsnelheden van bijvoorbeeld scooters. Beweging is ook een belangrijk onderwerp in de natuurkunde. In dit hoofdstuk kom je meer te weten over de manieren waarop je bewegingen kunt meten en beschrijven.

Wat weet je al over beweging?

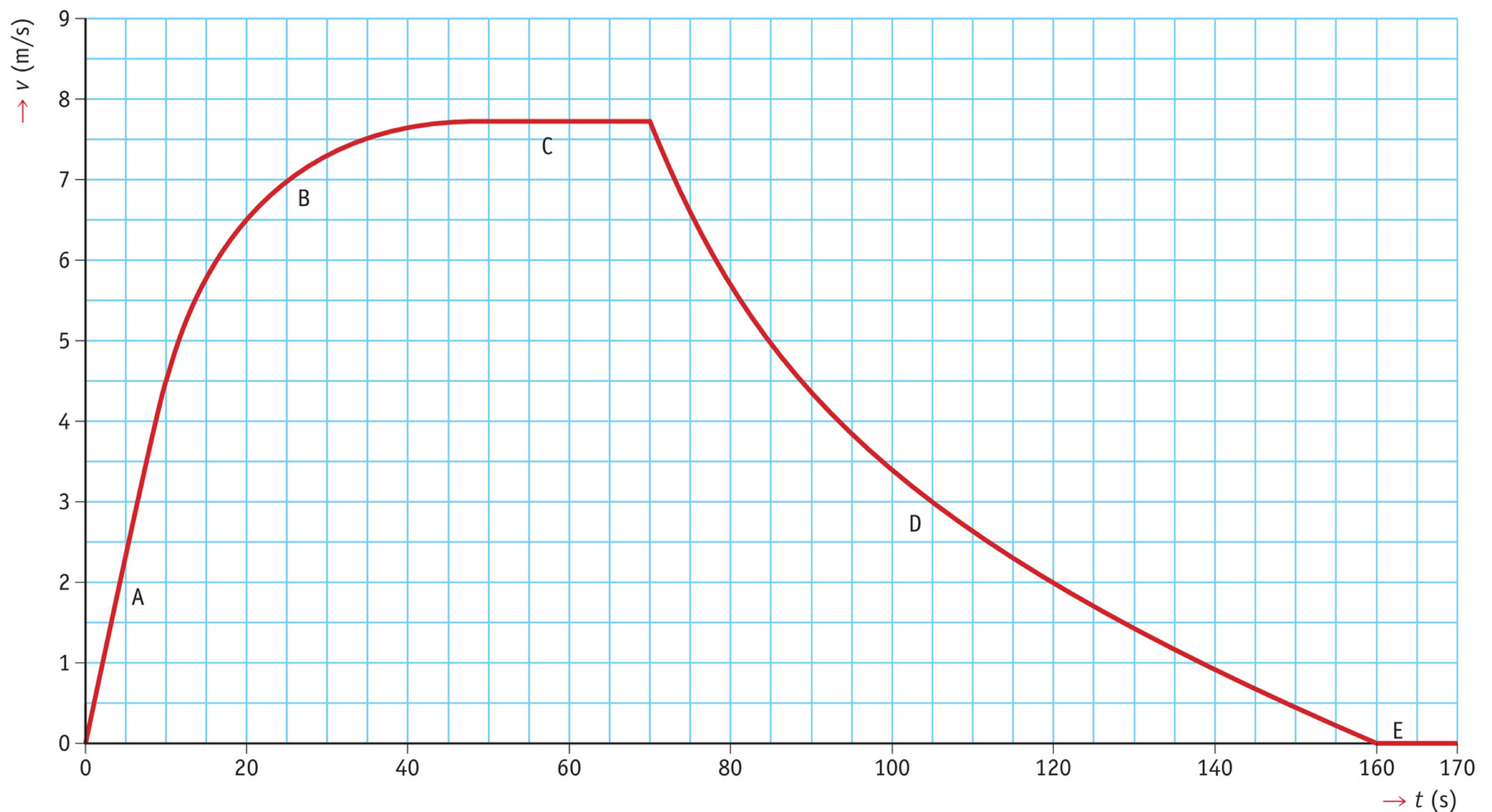
Leerdoelen
1 Je kunt km/h omrekenen naar m/s, en omgekeerd.
2 Je kunt de soort beweging herkennen in een (v,t)-diagram.
3 Je kunt de afgelegde afstand van een beweging bepalen in een (v,t)-diagram.
4 Je kunt de versnelling van een beweging berekenen.

In de vorige leerjaren heb je al een aantal dingen over beweging geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

Opdrachten voorkennis

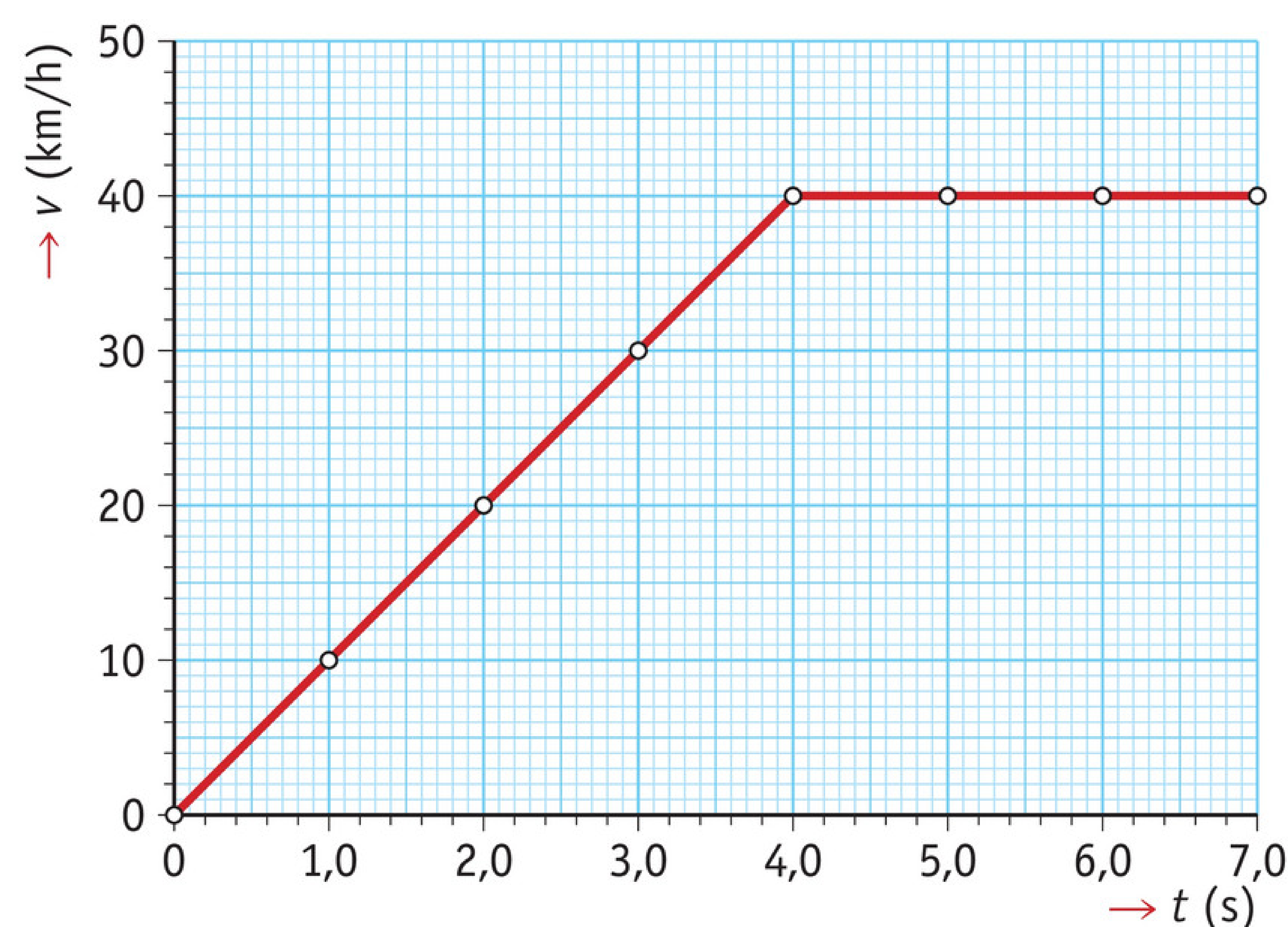
1 Reken om. Rond af op hele getallen.
43 km/h = ________ m/s
75 km/h = ________ m/s
27 m/s = ________ km/h
124 m/s = ________ km/h

2 Roos rijdt een stukje op haar fiets. Afbeelding 1 toont het (v,t)-diagram van haar beweging. Het diagram is verdeeld in vijf stukken (A, B, C, D en E).
Op welk(e) stuk(ken) is de beweging van Roos eenparig?



▲ **afbeelding 1**

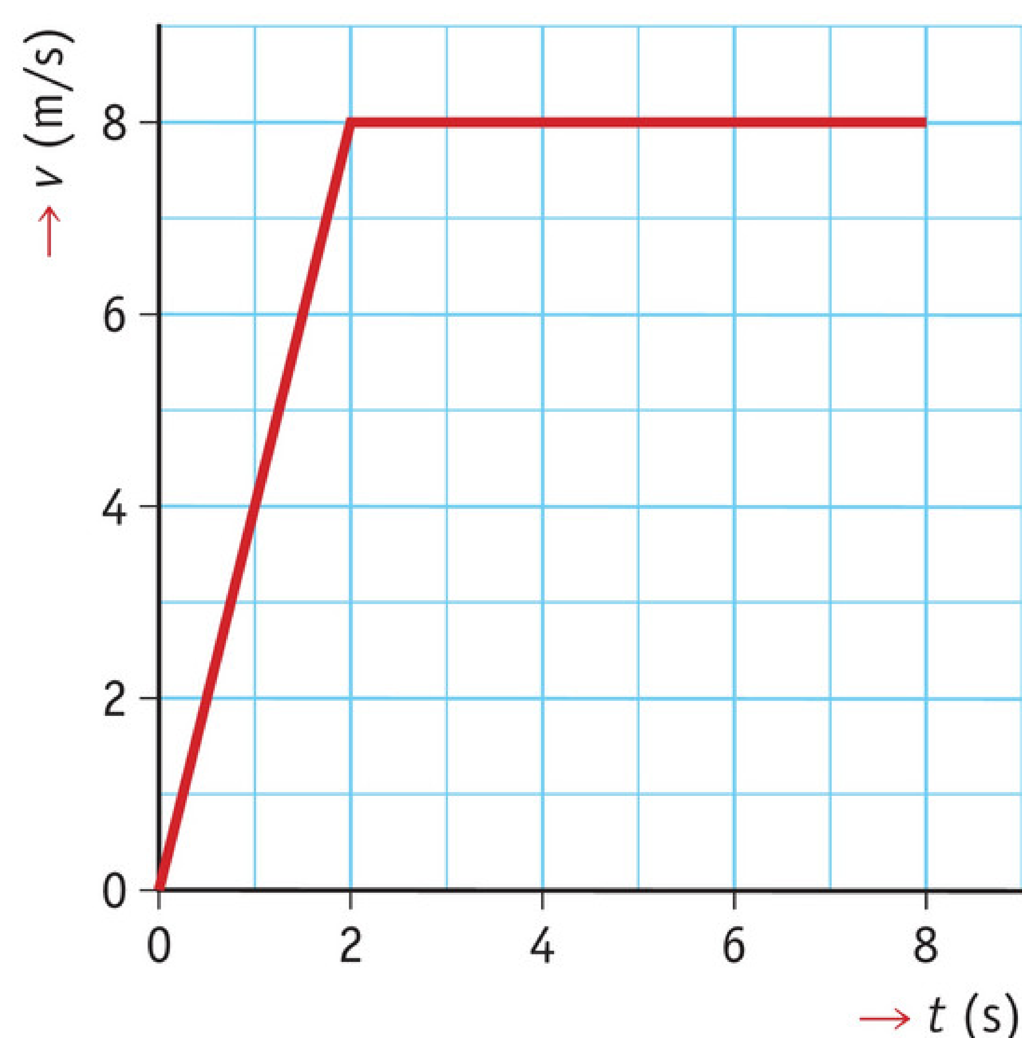
3 Je ziet het (v,t)-diagram van Joyce op haar scooter (afbeelding 2).
Vul de juiste woorden in.
Van $t = 0$ s tot $t = 4,0$ s is de beweging ______________________ .
Van $t = 4,0$ s tot $t = 7,0$ s is de beweging ______________________ .



▲ **afbeelding 2**

4 Bekijk het (v,t)-diagram van Joyce op de scooter opnieuw (afbeelding 2).
Kies de juiste woorden.
De afgelegde afstand tussen t = 0 s en t = 2 s is *groter dan / even groot als / kleiner dan* de afstand tussen t = 2 s en t = 4 s.
De afgelegde afstand tussen t = 4 s en t = 5 s is *groter dan / even groot als / kleiner dan* de afstand tussen t = 6 s en t = 7 s.

5 Afbeelding 3 toont het (v,t)-diagram van Edith op haar brommer.
Hoe groot is de afstand die Edith tussen t = 0 s en t = 4 s aflegt? ________ meter



▲ **afbeelding 3**

6 Een motorrijder trekt op uit stilstand. De motor beweegt gedurende 2,5 s eenparig versneld met een versnelling van 6,2 m/s^2.
Bereken hoe snel de motor na die 2,5 s beweegt (in km/h).

De motor heeft dan een snelheid van ________ km/h.

7 Een auto remt in 5,0 s af van 72 km/h naar 27 km/h.
Bereken de vertraging.

a = ________ m/s^2

 Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*.

Praktijk

Vallen en glijden

Waarschijnlijk heb je weleens een filmpje gezien waarin een groot aantal parachutisten 'in formatie' springt, in de vorm van een cirkel, bloem of ster. De kick van de parachutisten zit hem erin een bijzondere of grote figuur te vormen tijdens de sprong. De parachute zorgt ervoor dat elke deelnemer veilig landt. Maar hoe werkt zo'n parachute nou precies?



Een eeuwenoud ontwerp

Al in 1483 is door Leonardo Da Vinci een ontwerp voor een parachute gemaakt (figuur 1), maar dat ontwerp werd voor zover bekend nooit getest. Het zou nog bijna driehonderd jaar duren voordat de parachute voor het eerst echt werd gebruikt. Op 22 oktober 1779 maakte de Fransman André-Jacques Garnerin vanuit een luchtballon de eerste parachutesprong. Lange tijd werd parachutespringen vooral als stuntwerk en waaghalzerij gezien. Pas tijdens de Eerste Wereldoorlog, begin vorige eeuw, werd de parachute als reddingsmiddel voor piloten in gebruik genomen.

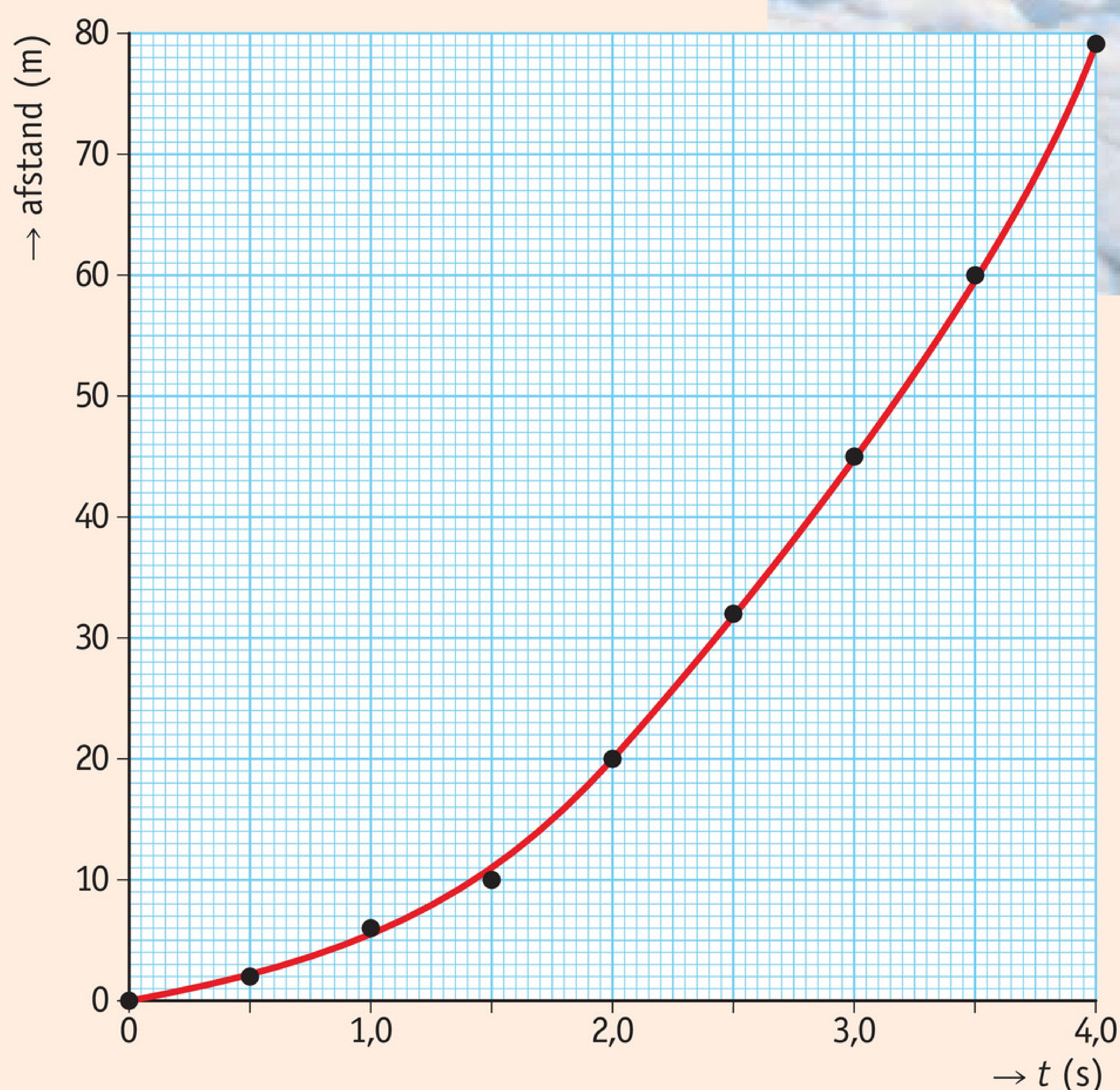
Midden vorige eeuw is het parachutespringen als hobby en sport in gebruik geraakt. Daarvoor is een nieuw type parachute ontwikkeld. De oorspronkelijke ronde vorm is meer en meer verdrongen door een rechthoekige vorm ('vliegend matras'). Daarmee is de parachute beter te besturen en kunnen grotere horizontale afstanden worden afgelegd.



▶ **figuur 1** het ontwerp van Leonardo Da Vinci



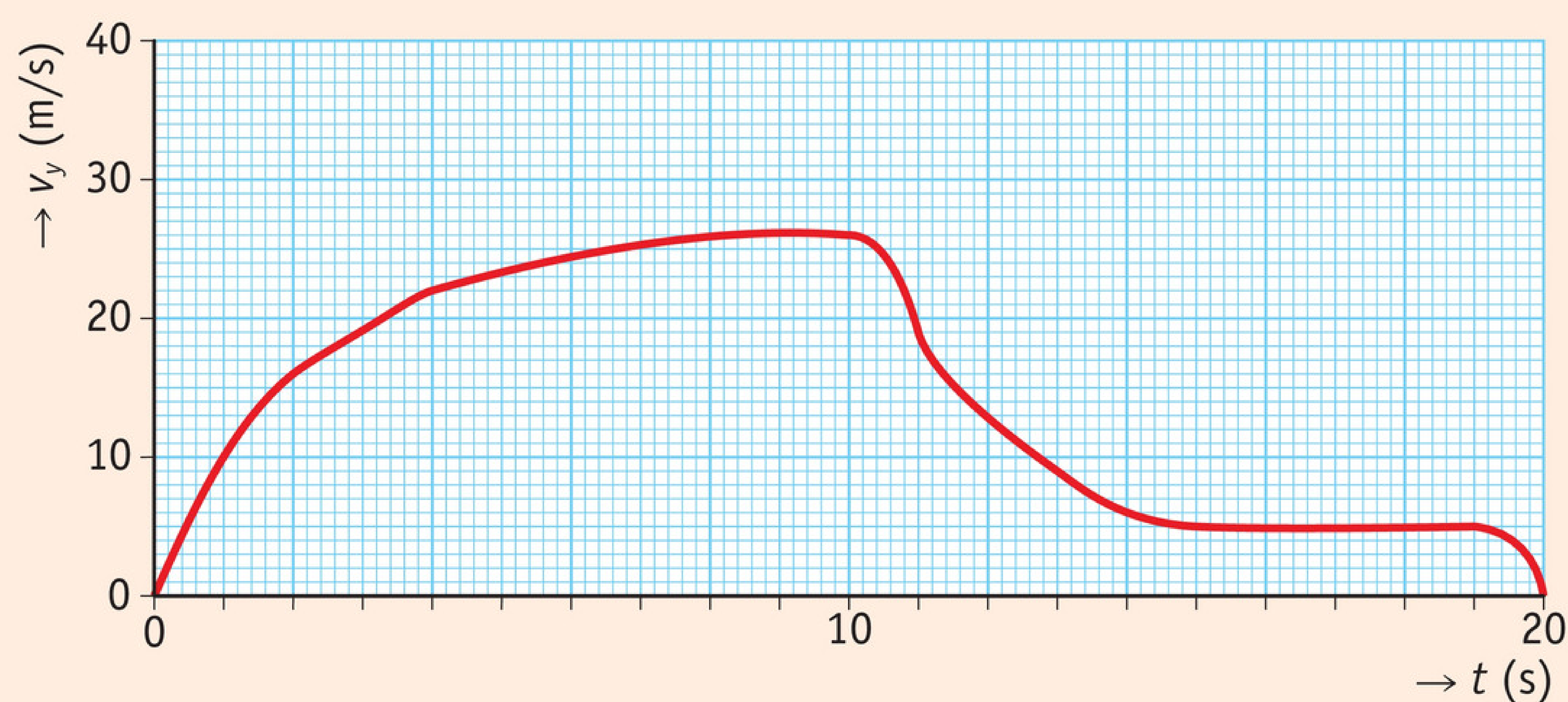
▶ **figuur 2** een parachutist in 'vrije val'



◀ **figuur 3** diagram van de afgelegde weg

Lange tijd werd parachutespringen vooral als stuntwerk en waaghalzerij gezien.

▼ **figuur 4** diagram van het snelheidsverloop bij een parachutesprong



Het verloop van een parachutesprong

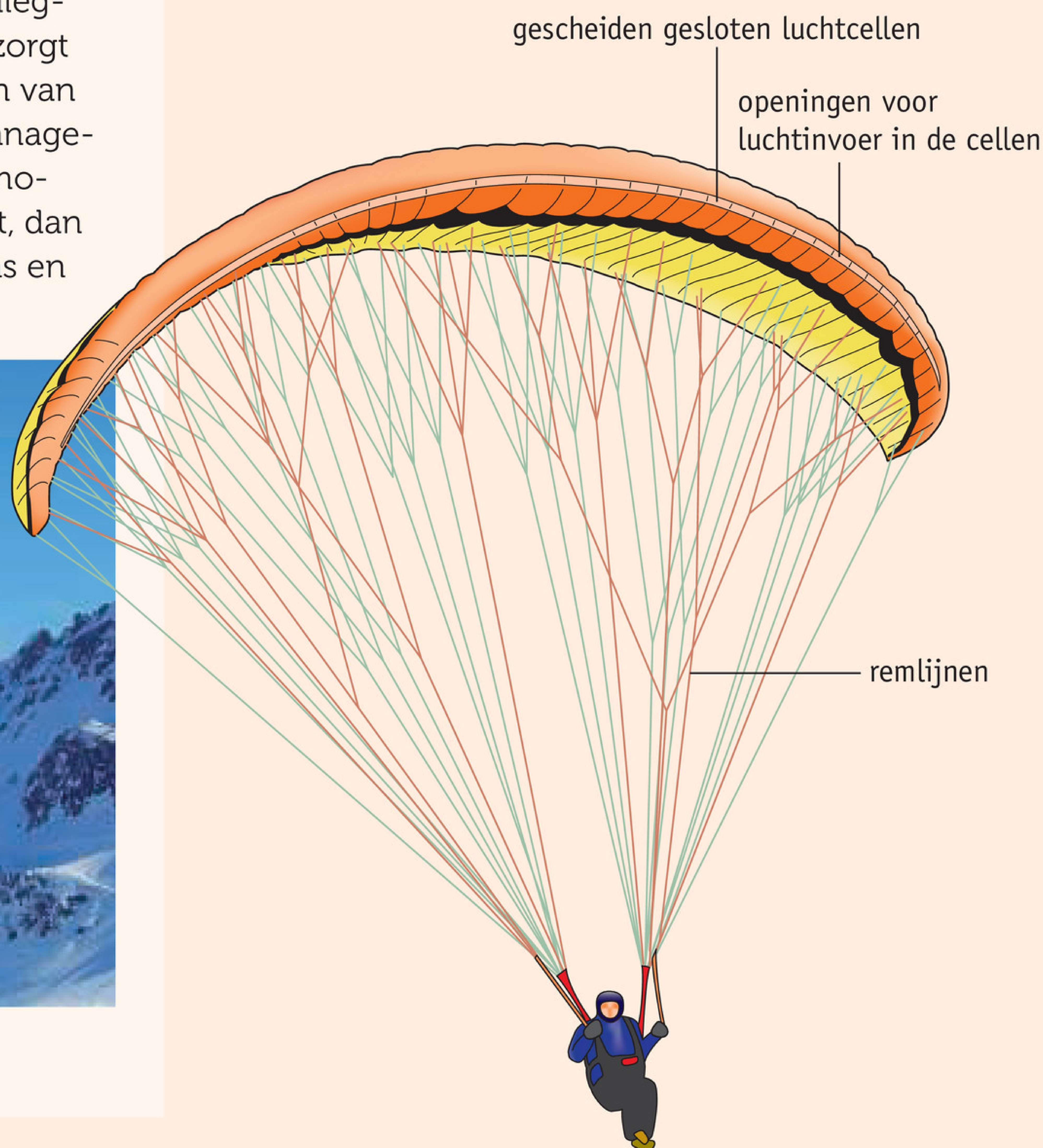
Na de afsprong uit het vliegtuig, op zo'n 4000 voet, valt de parachutist met toenemende snelheid naar beneden. Het deel van de parachutesprong voordat de parachute is geopend, wordt de 'vrije val' genoemd (figuur 2). Toch is dat natuurkundig gezien niet juist, want in de natuurkunde is een vrije val een val zonder luchtweerstand. Doordat de val tijdens de parachutesprong niet in het luchtledige plaatsvindt, zal de luchtweerstand bij toenemende snelheid steeds groter worden. Daardoor wordt de snelheidstoename steeds kleiner. Op ongeveer 3000 voet wordt de parachute geopend waardoor de valsnelheid afneemt tot ongeveer 5 m s^{-1}. Vlak voor de landing kan met de stuurlijnen worden afgeremd. Daardoor ontstaat een opwaartse kracht (liftkracht) waardoor de parachute nog langzamer gaat. Uiteindelijk is er alleen nog een beperkte horizontale snelheid. In de eerste seconden na de afsprong uit het vliegtuig speelt de luchtweerstand nog geen grote rol. De omlaaggevallen afstand ziet er in een diagram uit als in figuur 3. Dit is een natuurkundig ware 'vrije val'. Het snelheidsverloop tijdens de gehele parachutesprong is in figuur 4 weergegeven.

Schermvliegen

Parapenten wordt ook wel schermvliegen genoemd. De afdeling Schermvliegen van de Koninklijke Nederlandse Vereniging voor Luchtvaart, KNVvL, behartigt de belangen van de ongeveer 1600 Nederlandse schermvliegpiloten in binnen- en buitenland. De afdeling verzorgt opleidingen van instructeurs, conform de normen van het NOC*NSF. De afdeling kent een veiligheidsmanagementsysteem dat helpt om het vliegen zo veilig mogelijk te laten gebeuren. En als er dan iets gebeurt, dan wordt systematisch nagegaan wat de oorzaak was en wat daarvan door iedereen kan worden geleerd.



▲ **figuur 5** In de Alpen kun je parapenten.



▲ **figuur 6** de bouw van een parapente

Parapenten

Een andere sport waarbij een scherm wordt gebruikt, is parapenten. Een parapente is een glijscherm dat het mogelijk maakt door de lucht te bewegen als een zweefvliegtuig. Een parapente is net als een rechthoekige parachute heel goed te besturen.
Bij gunstige weersomstandigheden zijn er op veel plaatsen in de Alpen tientallen parapenters waar te nemen (figuur 5). Ze starten vanaf een geschikte plek op een berg en zweven langzaam naar beneden. Met een parapente kan ook omhoog worden bewogen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van thermiek (stijgende warme luchtstromingen) of stijgende hellingwinden.

De parapente is opgebouwd uit twee stofdelen, onderzijde en bovenzijde, verbonden door uit dezelfde stof gemaakte ‘bruggen’. Aan de voorzijde bevinden zich openingen zodat daar lucht kan binnenstromen. Daardoor krijgt de ‘vleugel’ de gewenste vorm (figuur 6). Door de snelheid van de nu ontstane vleugel ontstaat een opwaartse liftkracht.
Als er geen thermiek is of als er geen gebruik wordt gemaakt van hellingwinden, zal de parapente, net als een parachute, naar beneden bewegen, alleen heel wat langzamer. De vorm en de bouw van de parapente bepalen zijn eigenschappen. Daarvoor bestaat een kenmerkend getal: het glijgetal. Het glijgetal is de tangens van de glijhoek (zonder thermiek of hellingwinden) en ligt tussen de 7,5 en 11. Is het glijgetal 9, dan hoort bij een horizontale verplaatsing van 9 km een daling van 1 km (figuur 7).



▲ **figuur 7** een afdaling met glijgetal 9

Opdrachten

Bestudeer eerst de theorie van dit hoofdstuk voordat je de volgende opdrachten uitvoert.

1 Diagram aflezen
Leg uit hoe je in het diagram van figuur 3 kunt zien dat de snelheid toeneemt.

2 Glijgetal
Met een parapente kun je door de lucht 'glijden'.
a Welke parapente zal het snelst dalen (zonder thermiek): die met een glijgetal van 7,5 of die met een glijgetal van 11?
b Bereken hoe ver een parapente met glijgetal 10 (zonder thermiek) kan komen als die 1000 m daalt.

3 Skydiven
Skydiven is een sport waarbij men uit een vliegtuig springt en een groot deel van de tijd naar de aarde valt zonder de parachute te openen. Na enige tijd is de snelheid van de skydiver constant. In figuur 8 zie je het (v,t)-diagram van het begin van zo'n sprong.
a Toon aan dat in de eerste 2,0 s de luchtweerstand vrijwel te verwaarlozen is. Bepaal daartoe eerst met behulp van de figuur zo nauwkeurig mogelijk de versnelling in die periode.

Tussen t = 0 s en t = 20 s valt de skydiver over een afstand van 0,9 km.
b Toon dit aan met behulp van het (v,t)-diagram.

De skydiver springt op een hoogte van 3,0 km uit het vliegtuig. Op een hoogte van 0,8 km opent hij zijn parachute.
c Bepaal de tijd tussen het verlaten van het vliegtuig en het openen van de parachute.

bron: pilotexamen 2013-I

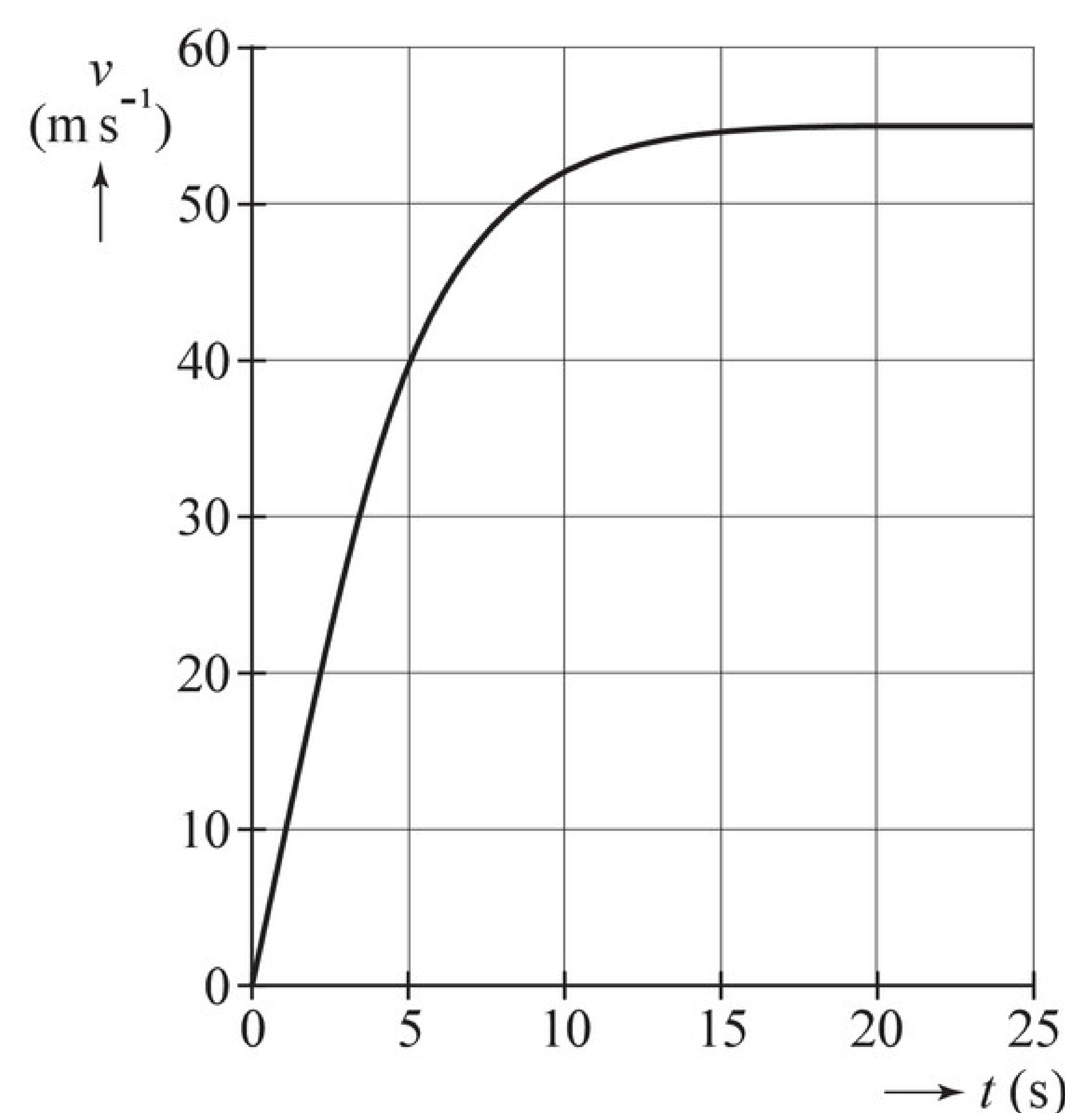
4 Valversnelling op Venus
Op de planeet Venus valt een steen omlaag. Deze bereikt na 2,4 s de grond.
a Zoek de valversnelling op Venus op.
b Bereken de snelheid waarmee de steen de grond bereikt.
c Bereken van welke hoogte de steen is gevallen.

+5 Valsnelheid
De werking van een parachute berust op de eerste wet van Newton: als de krachten op een voorwerp elkaars werking opheffen, blijft de snelheid constant. De krachten die hier van belang zijn, zijn de zwaartekracht F_z en de luchtweerstand F_w. Tijdens de 'vrije' val werkt in eerste instantie alleen de F_z. Naarmate de snelheid toeneemt, zal de F_w groter worden (en is het natuurkundig gezien dus geen vrije val meer). Op het moment dat $F_z = F_w$ zal de snelheid constant blijven. Dan geldt dus de eerste wet van Newton.
De grootte van de luchtweerstand kun je berekenen met de formulee:

$$F_w = ½ \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Hierin is:
- c de luchtweerstandscoëfficiënt: een maat voor de stroomlijn van een voorwerp (deze heeft geen eenheid);
- ρ de dichtheid van de lucht in kilogram per kubieke meter (kg m^{-3});
- A de frontale oppervlakte van het voorwerp in vierkante meter (m^2);
- v de snelheid in meter per seconde (m s^{-1}).

a Zoek de dichtheid van lucht op in Binas.
b De massa van de parachutist (met parachute) is 100 kg.
Bereken de maximale wrijvingskracht die wordt ondervonden (gebruik de eerste wet van Newton).
c Ga na hoe groot de maximale valsnelheid is van deze parachutist als de parachute nog gesloten is. Neem aan dat A = 1,0 m^2 en c = 0,9.
d Ga na hoe groot de maximale valsnelheid is als de parachute is geopend (neem nu aan dat A = 35 m^2 en c = 1,5).



▲ **figuur 8** (v,t)-diagram van een skydiver gedurende de eerste 25 seconden

1 Het Système International d'unités (SI)

In deze paragraaf leer je:
- de begrippen grootheid en eenheid kennen;
- werken met tabel 2 tot en met 5 van Binas;
- voorvoegsels en de wetenschappelijke notatie gebruiken.

Als je bij de slager of groenteboer komt, kun je termen horen als een 'ons' snijworst en een 'pond' tomaten. In Nederland is een 'ons' gelijk aan 100 gram en een 'pond' is 500 gram. Het Engelse pond, of *libra pounds* (lbs), is echter 455 gram. Vandaar dat je bijvoorbeeld op potjes Engelse jam 455 gram ziet staan of 1 lbs. Deze verschillende afspraken veroorzaken verwarring. Andere bekende voorbeelden zijn de verschillende lengtematen *mile*, *inch*, *foot* en *yard* en de temperatuurschalen Celsius, Fahrenheit en Kelvin. Daarom zijn in 1960 internationale afspraken gemaakt over het gebruik en de grootte van maten en schalen. Deze zijn vastgelegd in het Système International d'unités, afgekort SI.

Grootheden en eenheden

Een belangrijk onderdeel van het vak natuurkunde is het uitvoeren van experimenten. Daarbij moet je regelmatig iets meten. Dat kan de tijd zijn waarin een karretje van punt A naar punt B rijdt, of de afstand die het karretje dan heeft afgelegd. Tijd en afstand zijn grootheden. Alles wat kan worden gemeten, is een **grootheid**. Bij elke grootheid hoort een **eenheid**. De eenheid is de maat waarin je de grootheid uitdrukt. Bij tijd is de eenheid seconde en bij afstand is de eenheid meter.

Voor alle grootheden en eenheden zijn symbolen afgesproken en vastgelegd in het SI. Zo hebben de grootheden tijd en afstand het symbool t en s. De eenheden seconde en meter hebben de symbolen s en m. Als we een grootheid kennen, schrijven we dat als volgt op:

grootheid = getal (gevolgd door) eenheid

Bijvoorbeeld: $s = 10$ m

In woorden staat er 'de afstand is 10 meter'.

De symbolen voor de grootheden worden altijd *schuin* gedrukt. Zo kun je de grootheden dus ook herkennen.

Basisgrootheden en hun grondeenheden

In de natuurkunde wordt er onderscheid gemaakt tussen twee soorten grootheden: **basisgrootheden** en overige grootheden. De overige grootheden kunnen, soms met wat moeite, worden omgezet in de basisgrootheden of combinaties daarvan. De zeven basisgrootheden staan in tabel 1. Deze tabel vind je ook in Binas (tabel 3). In deze tabel staan ook de grondeenheden. Alle andere eenheden kunnen worden samengesteld uit deze grondeenheden.

▼ **tabel 1** de zeven basisgrootheden

grootheid	symbool	eenheid	symbool
lengte	l	meter	m
massa	m	kilogram	kg
tijd	t	seconde	s
stroomsterkte	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin	K
lichtsterkte	I	candela	cd
hoeveelheid stof	n	mol	mol

Binas

Binas is de titel van het informatieboek dat je gebruikt bij **BI**ologie, **NA**tuurkunde en **S**cheikunde. Je mag Binas ook tijdens het eindexamen gebruiken. Bij het maken van de opdrachten zul je dit informatieboek regelmatig moeten raadplegen. Binas heeft geen paginanummering maar tabelnummers. Als je in de inhoudsopgave van Binas kijkt, zie je dat er een algemeen deel voor alle vakken is en een gedeelte voor natuurkunde, scheikunde en biologie.
In Binas tabel 3 en 4 vind je de SI-grootheden en de bijbehorende eenheden. Als je op je examen bijvoorbeeld niet meer weet waarvoor s = 10 m staat, kun je dat in deze tabellen terugvinden.
In Binas tabel 5 staan de eenheden en zo nodig de omrekeningsfactoren vermeld. Omrekeningsfactoren staan alleen vermeld bij de eenheden die geen officiële SI-eenheden zijn.

Voorbeeldopgave 1

Een bewegend elektron heeft een hoeveelheid energie van 7,0 elektronvolt (eV).

a Wat is het SI-symbool voor de grootheid energie?
b Wat is de SI-eenheid van energie?
c Reken de energie van het elektron om naar de eenheid joule.

Uitwerking

a In Binas tabel 4 zoek je op wat het symbool is voor de grootheid energie. Dat is de hoofdletter E.
b In Binas tabel 4 zoek je op wat de eenheid is van energie. Dat is de joule (J).
c In Binas tabel 5 vind je dat een elektronvolt gelijk is aan $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J. Het elektron heeft een energie gelijk aan $7{,}0 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J = $1{,}1 \cdot 10^{-18}$ J. Dus $E = 1{,}1 \cdot 10^{-18}$ J.

In enkele gevallen wordt het symbool van een grootheid ook voor een andere grootheid gebruikt. Dit is onder andere het geval bij dichtheid ρ (spreek uit als rho), waar het symbool ook zou kunnen staan voor de soortelijke weerstand ρ. Je moet dan bij het invullen van een formule goed kijken welke van de twee grootheden wordt bedoeld. Je kunt dit zien aan de overige symbolen in de formule.

Wetenschappelijke notatie en voorvoegsels

Zoals je inmiddels weet, wordt de afstand uitgedrukt in meter. Als je echter de dikte van een haar in meter gaat opschrijven of de afstand vanaf de aarde naar de maan, krijg je getallen met heel veel nullen. Dat maakt dat de getallen moeilijk te lezen zijn. Om dit probleem op te lossen, zijn er twee mogelijkheden. Je kunt de afstand opschrijven met een vermenigvuldigingsfactor, ook wel voorvoegsel genoemd. Bijvoorbeeld: een haar is één millimeter dik, dat is een duizendste meter. ‘milli’ betekent ‘een duizendste’. Of je schrijft de afstand op in de wetenschappelijke notatie. Dat zul je bij het vak natuurkunde vaak moeten doen.

Een onderdeel van het noteren van een getal in de wetenschappelijke notatie is het werken met machten van 10. Dit betekent dat je voorvoegsels zoals centi, milli en kilo vervangt door een macht van 10 en de juiste SI-eenheid. Een aantal veelgebruikte machten staat in tabel 2. Een uitgebreidere lijst vind je in Binas tabel 2.

▼ **tabel 2** enkele veelgebruikte machten van tien

factor	voorvoegsel	symbool
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
100 = 1	–	–
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m

Voorbeeldopgave 2

Schrijf de afstand van 1,3 mm met een macht van 10 in de SI-eenheid meter.

Uitwerking
Het symbool voor de grootheid afstand is s. In tabel 2 kun je terugvinden dat het voorvoegsel m, van milli, gelijk is aan 10^{-3}. Begin door het symbool van de grootheid op te schrijven, gevolgd door een =-teken. Na het =-teken schrijf je 1,3 en daarachter de juiste macht van 10. Je eindigt met het symbool van de SI-eenheid, in dit geval m. Dus: $s = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ m.

Als je een getal in de **wetenschappelijke notatie** schrijft, schrijf je het getal als $a \cdot 10^b$. Hiervoor geldt een aantal afspraken:

- Voor a geldt: 1 < a < 10. Er staat dus altijd één cijfer, van 1 tot en met 9, vóór de komma en de resterende cijfers staan ná de komma (bijvoorbeeld 1,3).
- a wordt gevolgd door de juiste macht van 10 (bijvoorbeeld 10^{-3}). Dit zie je in voorbeeldopgave 2.

De machten van 10^1 en 10^{-1} worden meestal niet gebruikt.

Voorbeeldopgave 3

De maan beschrijft een baan om de aarde met een straal van $384{,}4 \cdot 10^6$ m.

a Ga met behulp van Binas tabel 31 na of deze informatie klopt.
b Schrijf de afstand in de wetenschappelijke notatie.

Uitwerking

a In Binas tabel 31 staat bij de maan de volgende informatie: baanstraal = $384{,}4 \cdot 10^6$ m. Dit klopt dus.
b Zorg er eerst voor dat er één cijfer voor de komma staat. De komma verschuift dus twee plaatsen naar links. Om het getal kloppend te houden, moet het getal met $100 = 10^2$ worden vermenigvuldigd. Dit levert op: $3{,}844 \cdot 10^6 \times 10^2$ m. Maar je bent nog niet klaar. Als je machten van 10 met elkaar vermenigvuldigt, moeten de exponenten, hier de 6 en de 2, bij elkaar worden opgeteld. De juiste wetenschappelijke notatie is dus: $s = 3{,}844 \cdot 10^8$ m.

Eenhedenonderzoek

In de natuurkunde werk je veel met formules. Bij elke formule geldt dat links en rechts van het =-teken dezelfde eenheid staat. Deze regel kun je gebruiken om in een formule de eenheid van een grootheid te bepalen, als je de andere eenheden kent. Zo druk je kracht F uit in de eenheid newton (N). Oppervlakte A druk je uit in de eenheid vierkante meter (m^2). Dit noteer je als volgt:
$[F] = N$
$[A] = m^2$
De vierkante haken betekenen ‘de eenheid van’.

De druk bereken je met de formule $p = \frac{F}{A}$

Voor de eenheid van druk geldt dan: $[p] = \frac{[F]}{[A]} = \frac{N}{m^2} = N/m^2 = N \cdot m^{-2}$

In sommige formules komen getallen voor die geen eenheid hebben. Die getallen kun je weglaten, als je de eenheid van een grootheid zoekt. Zo druk je de straal van een cirkel uit in m.
$[r] = m$
De oppervlakte van deze cirkel bereken je met $A = \pi \cdot r^2$.
Voor de eenheid van oppervlakte geldt dan $[A] = [r]^2 = m^2$, want π heeft geen eenheid.

Onthoud!

- Een grootheid is iets wat kan worden gemeten.
- Een gemeten grootheid wordt genoteerd als een getal met daarachter de eenheid.
- Je kunt een getal in de wetenschappelijke notatie noteren of met behulp van een voorvoegsel.
- In Binas tabel 2 tot en met 5 vind je informatie over grootheden, eenheden en voorvoegsels.
- Bij elke formule geldt dat links en rechts van het =-teken dezelfde eenheid staat.

Opdrachten

1 Grootheden en eenheden
Noteer de SI-eenheden van de volgende grootheden.
a volume
b temperatuur
c omlooptijd
d kracht

2 Grootheden en hun symbolen
Noteer het symbool voor de volgende grootheden.
a versnelling
b straal
c radioactiviteit
d druk

3 Wetenschappelijke notatie
Schrijf de volgende getallen, indien mogelijk, in de wetenschappelijke notatie.
a $123 \cdot 10^{-3}$
b 71,34
c 0,045
d 78 013

4 Voorvoegsel kilo
Schrijf de volgende getallen met het voorvoegsel kilo, k, in de wetenschappelijke notatie.
a $12 \cdot 10^{2}$ m s^{-2}
b $1715 \cdot 10^{-3}$ W
c 35 s
d 138 N

5 Eenheid omrekenen
Een volwassen man krijgt dagelijks ongeveer 2200 kcal aan energie binnen via voeding.
Bereken hoeveel joule dit is.

6 Foot
Foot (*ft* = *voet*) is een Amerikaanse eenheid.
Een parachutist springt op 4000 voet uit een vliegtuig.
Reken deze hoogte met behulp van Binas tabel 5 om in meter.

7 Binas
Gebruik Binas om de volgende vragen te beantwoorden.
a Materialen hebben een bepaalde dichtheid.
Hoe groot is de dichtheid van porselein?
b Geef de omlooptijd om de zon van Jupiter in seconden.
c Hoe hoog is het smeltpunt van ijs?
d Met welke formule kun je de omtrek van een cirkel berekenen?

8 Astronomische eenheid
De astronomische eenheid (AE) is de afstand tussen de zon en de aarde.
a Het is vaak handiger om de afstand van bijvoorbeeld Jupiter tot de zon uit te drukken in astronomische eenheden dan in meter.
Leg uit waarom.
b Reken de afstand van Jupiter tot de zon om in AE. Gebruik Binas tabel 5 en 31.

9 Eenhedenonderzoek
Bepaal de SI-eenheden van twee grootheden.
a De impuls p van een voorwerp is de massa m van dat voorwerp maal de snelheid v van dat voorwerp: $p = m \cdot v$.
Bepaal de SI-eenheid van impuls.
b Als je water verwarmt, stijgt de temperatuur. Deze temperatuurstijging kun je berekenen

met de formule $\Delta T = \dfrac{Q}{m \cdot c}$

In deze formule is m de massa van het water in kilogram (kg), ΔT de temperatuurstijging in kelvin (K), Q de toegevoerde warmte in joule (J) en c de soortelijke warmte van water.
Bepaal de SI-eenheid van soortelijke warmte.

2 Meetnauwkeurigheid en significantie

In deze paragraaf leer je:
- wat significante cijfers zijn;
- in hoeveel cijfers je de uitkomst van een berekening met meetwaarden mag opschrijven;
- wat de meetonzekerheid is.

Van veel grootheden die je regelmatig waarneemt, kun je met behulp van je zintuigen een goede schatting maken. Dat geldt bijvoorbeeld voor de grootheden tijd, temperatuur en afstand. Als je een tijdje hebt gefietst, kun je waarschijnlijk wel een schatting maken van de afgelegde weg, bijvoorbeeld: s = 8 km. Maar met je zintuigen kun je niet nauwkeurig meten. De werkelijk afgelegde weg kan best 5 km of misschien 9 km zijn geweest. Een meetinstrument kan veel nauwkeuriger de afstand vastleggen. De kilometerteller op je fietscomputer kan bijvoorbeeld aangeven dat je 8,3 km hebt gereden.

Significante cijfers

Als je een meting hebt verricht, schrijf je het resultaat op als een getal met daarachter een eenheid. Dat getal bestaat uit een aantal cijfers. Nauwkeuriger meten betekent dat het meetresultaat in meer cijfers wordt opgeschreven. We zeggen dan dat je meer significante cijfers opschrijft. Significante cijfers zijn cijfers die betekenis hebben voor de nauwkeurigheid van de meetwaarde.

Alle cijfers van een meetwaarde zijn significante cijfers, behalve de nullen waarmee een getal begint. Bij de wetenschappelijke notatiemethode kijk je bij het bepalen van het aantal significante cijfers niet naar de macht van tien.
Zo bestaat 3,6 uit twee significante cijfers.
3,60 bestaat uit drie significante cijfers. Die nul achteraan laat zien dat deze waarde nauwkeuriger is gemeten dan 3,6.
0,0036 bestaat uit twee significante cijfers. De nullen vooraan tellen niet mee.
$0{,}025\,000 \cdot 10^4$ bestaat uit vijf significante cijfers, omdat 0,025 000 uit vijf significante cijfers bestaat.

Hoe nauwkeuriger je meet, in hoe meer (significante) cijfers je de meetwaarde mag weergeven. Dat heeft gevolgen die je misschien niet verwacht. Een voorbeeld: natuurkundig gezien is 8 km niet gelijk aan 8000 m. Van de eerstgenoemde meetwaarde, 8 km, is het aantal significante cijfers één; de tweede meetwaarde, 8000 m, heeft vier significante cijfers. De meetwaarde 8 km kan elke waarde inhouden van 7,5 km tot 8,5 km, dat is afgerond 8 km. De **meetonzekerheid** is 0,5 km.
Als je 8000 m opschrijft, liggen de mogelijke meetwaarden van 7999,5 m tot 8000,5 m. Dat is afgerond 8000 m: de meetonzekerheid bedraagt dan 0,5 m. De meetonzekerheid is dus de grootst mogelijke afwijking van de meetwaarde ten opzichte van de genoteerde waarde.
Als je 8 km wilt omzetten in meter, mag dat alleen door te schrijven: $8 \cdot 10^3$ m. Je bent dan verplicht de wetenschappelijke notatie te gebruiken (zie paragraaf 1). Het aantal significante cijfers blijft dan namelijk gelijk.

Je kunt de nauwkeurigheid van een meting op een aantal manieren vergroten. Je kunt:
- een nauwkeuriger meetinstrument gebruiken (een schaalverdeling in centimeter is minder nauwkeurig dan een schaalverdeling in millimeter bijvoorbeeld);
- een betere meetmethode kiezen;
- een meting een aantal maal herhalen en het gemiddelde berekenen.

▶ **EXPERIMENT 1** Reactietijd

Vuistregels bij het rekenen met meetwaarden

Stel dat je de inhoud van een zwembad wilt bepalen. Dan moet je rekening houden met de meetonzekerheid in de lengte, de breedte en de diepte ($V = l \cdot b \cdot h$).

Vuistregel 1

De uitkomst bij een *vermenigvuldiging* en *deling* schrijf je op in het kleinste aantal significante cijfers van de bij de berekening gebruikte meetwaarden.

Voorbeeldopgave 4

De lengte van een zwembad is 10,1 m, de breedte 5,0 m en de waterdiepte 1,65 m.
Bereken het volume van het water in het zwembad.

Uitwerking

Eerst schrijf je de formule op die je nodig hebt: $V = l \cdot b \cdot h$

Als je de gegevens vervolgens invoert, geeft de rekenmachine de uitkomst 83,325 m^3.

Het kleinste aantal significante cijfers van de bij de berekening gebruikte getallen is twee (bij 5,0).

De uitkomst mag dus ook in slechts twee significante cijfers worden weergegeven: $V = 83$ m^3.

Vuistregel 2

Bij het *optellen* (= som) en *aftrekken* (= verschil) van meetwaarden, let je niet op het aantal significante cijfers, maar op het aantal decimalen, dus het aantal cijfers achter de komma. Bij het optellen en aftrekken van meetwaarden schrijf je de uitkomst op met het kleinste aantal decimalen van de bij de berekening gebruikte meetwaarden.

Voorbeeldopgave 5

Drie kisten hebben een hoogte van respectievelijk 1,03 m, 0,65 m en 1,2 m.
Bereken de totale hoogte als de drie kisten op elkaar zijn gestapeld.

Uitwerking

Als je de hoogten bij elkaar optelt, is de uitkomst 2,88 m.

De uitkomst mag volgens vuistregel 2 maar één cijfer achter de komma hebben, dus je moet de uitkomst afronden: $h = 2{,}9$ m.

De vuistregels gelden alleen voor meetwaarden en niet voor zogenoemde telwaarden. Telwaarden zijn getallen die aantallen voorstellen. Zo'n aantal is 100% nauwkeurig bekend en heeft geen meetonzekerheid. Als je bijvoorbeeld zes knikkers hebt van elk 9,0 g, dan bereken je de totale massa van die knikkers als volgt: $m = 6 \times 9{,}0 = 54$ g. De uitkomst mag twee significante cijfers bevatten, want 9,0 g bestaat uit twee significante cijfers. De telwaarde 6 is 100% nauwkeurig bekend en beperkt niet het aantal significante cijfers.

▶ **EXPERIMENT 2** Dichtheid

Opmerkingen
- Laat in een einduitkomst nooit een breuk of het getal π (pi) staan. Reken breuken altijd om naar een decimaal getal.
- Als er in een formule getallen voorkomen die geen meetwaarden zijn, speelt daarvan de significantie geen rol (denk aan 2 in $2 \cdot \pi \cdot r$).
- Rond alleen de einduitkomst van een berekening af op het juiste aantal significante cijfers. Een *tussenuitkomst* mag je *nooit afronden*.
- Besef dat je rekenmachine geen rekening houdt met significantie, dat moet je zelf doen.
- Controleer voortaan bij al je berekeningen de einduitkomst op het juiste aantal significante cijfers.

Onthoud!

- Meetwaarden zijn niet altijd even nauwkeurig.
- De meetonzekerheid is de grootst mogelijke afwijking van de meetwaarde ten opzichte van de genoteerde waarde.
- Het aantal significante cijfers is een maat voor de nauwkeurigheid.
- Maak gebruik van de vuistregels bij het rekenen met meetwaarden.

Opdrachten

10 Significantie
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg in je eigen woorden uit wat significantie is.
b Wat zie je aan de uitkomst van een meting als die met een nauwkeuriger instrument wordt uitgevoerd?
c Je krijgt een einduitkomst door twee meetwaarden op elkaar te delen. Hoe luidt de vuistregel voor de significantie bij deze berekening?

11 Significante cijfers
Geef aan hoe groot het aantal significante cijfers is in de volgende meetwaarden.
a 22 km
b $3{,}6 \cdot 10^{6}$ W
c 0,554 s
d 0,070 mm
e 38,0 °C
f $200{,}0 \cdot 10^{-5}$ J

12 Meetonzekerheid
Bepaal de meetonzekerheid in de volgende meetwaarden.
a 22 km
b $3{,}6 \cdot 10^{6}$ W
c 0,554 s
d 0,070 mm
e 38,0 °C

13 Parachutesprong
Bij een parachutesprong trekt de springer de parachute pas open als zijn snelheid $2{,}0 \cdot 10^{2}$ km h^{-1} is.
a Uit hoeveel significante cijfers bestaat deze snelheid?
b Hoe groot is de meetonzekerheid in deze snelheid?
c Tussen welke waarden zit, als gevolg van de meetonzekerheid, de snelheid waarbij de parachutist zijn parachute opentrekt?

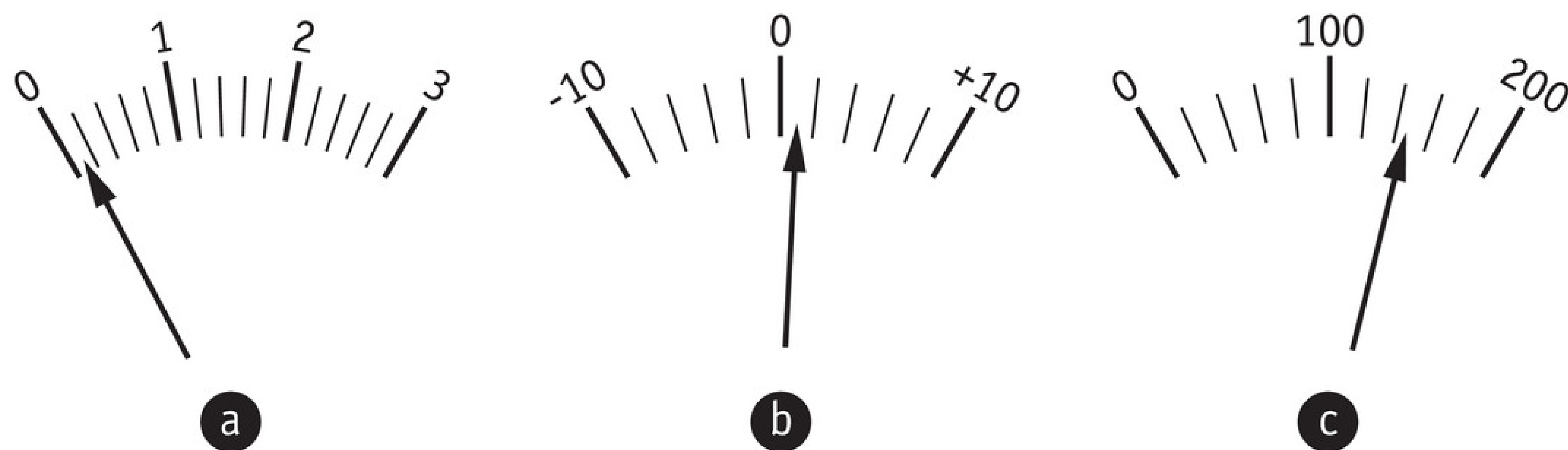
14 Omrekenen

Reken om en schrijf de antwoorden in de wetenschappelijke notatie. Zorg ervoor dat het aantal significante cijfers niet verandert.

a 72 mm = … m
b 0,28 km = … dm
c 201 m = … km
d 68 dm^2 = … m^2
e 200 m^3 = … cm^3

15 Meetinstrumenten

Lees de meetinstrumenten in figuur 1 af en geef de meetwaarden in het juiste aantal significante cijfers.



▲ **figuur 1** meetwaarden aflezen

16 Dichtheid

De dichtheid van een stof kun je berekenen met de formule $\rho = \frac{m}{V}$. In Binas tabel 8 tot en met 12 kun je de dichtheden van diverse stoffen opzoeken.
Een ijzeren blokje heeft een massa van 0,16 kg.
Bereken het volume van dit blokje in kubieke centimeter.

17 Veer uitrekken

Je trekt aan een veer waardoor deze uitrekt. Je meet steeds de kracht die bij een toenemende uitrekking hoort. De metingen staan in tabel 3.

▼ **tabel 3** uitrekking tegen kracht

F (N)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
u (cm)	2,1	4,2	6,1	8,6	10,9

a Maak van de meetwaarden in tabel 3 een grafiek.
b Hoe zou je het resultaat wiskundig benoemen?

18 Dikte bepalen

Leg uit op welke wijze je de dikte van een pagina van dit natuurkundeboek nauwkeurig kunt bepalen.

19 Significantie en vuistregels

Beantwoord de volgende vragen.

a Reken 3 minuten om in seconden.
b Van een lat met een lengte van 2 m wordt 4 cm afgezaagd.
Bereken de lengte die deze lat nu heeft.

20 Wetenschappelijke notatie
Schrijf de volgende meetwaarden zonder voorvoegsel in de wetenschappelijke notatie. Zorg ervoor dat het aantal significante cijfers niet verandert.
- **a** 13,4 km
- **b** 400 MN
- **c** 4,8 ms
- **d** 0,6 TJ
- **e** 0,065 μm
- **f** 0,40 GW

21 Strandbal
Een opgeblazen strandbal heeft een diameter van 2,5 dm.
- **a** Zoek in Binas een formule op om het volume van een bol te berekenen.
- **b** Bereken het volume van de strandbal.
- **c** Iemand laat lucht uit de strandbal, zodat het volume hiervan met 20% afneemt. Bereken de diameter die de strandbal nu nog heeft.

+22 Zwembad
Een rechthoekig zwembad dat overal even diep is, heeft een lengte van 10,5 m, een breedte van 6,1 m en een waterdiepte van 1,6 m.
- **a** Geef aan hoe groot de maximale waarden zijn van de lengte, breedte en diepte van het zwembad, uitgaande van het aantal gegeven significante cijfers.
- **b** Geef aan hoe groot de minimale waarden zijn van de lengte, breedte en diepte van het zwembad, uitgaande van het aantal gegeven significante cijfers.
- **c** Bereken het maximale en het minimale volume van het water in dit zwembad. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

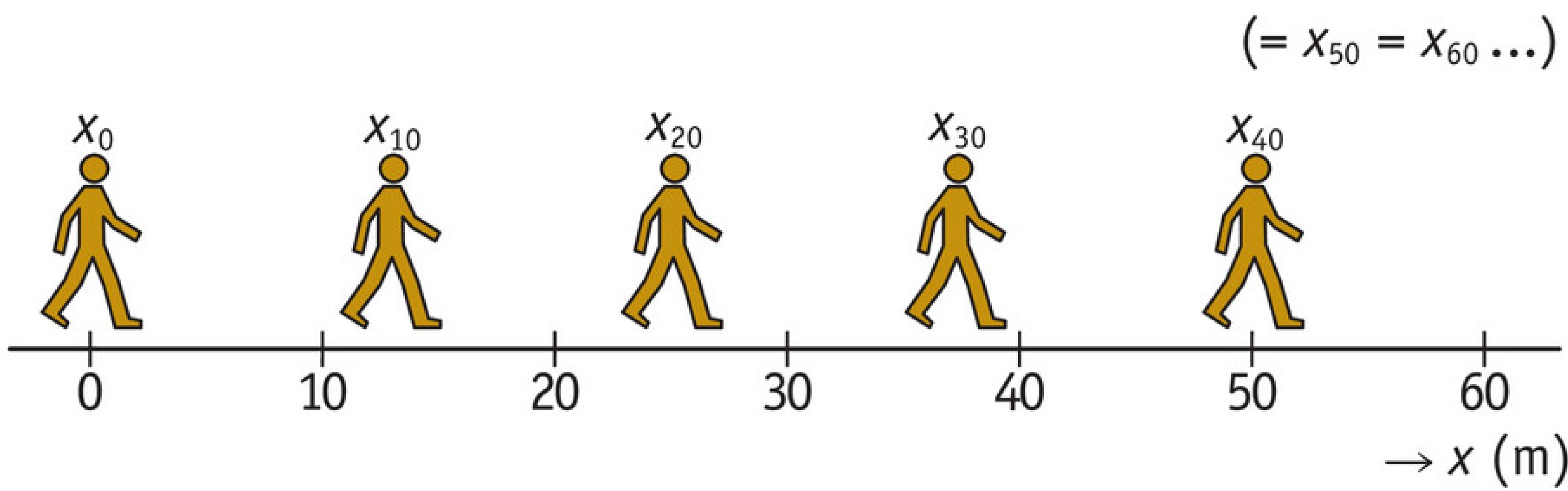
3 Eenparig rechtlijnige beweging

In deze paragraaf leer je:
- wat een eenparige beweging is;
- hoe je bij een eenparige beweging de snelheid kunt uitrekenen;
- het (x,t)-diagram en het (v,t)-diagram kennen;
- hoe je met een model een beweging kunt doorrekenen.

Als je een grote afstand aflegt over een weg met weinig verkeer, rijd je waarschijnlijk een hele tijd met een constante snelheid. Je voert dan een eenparige beweging uit. Als de snelheid en de tijdsduur bekend zijn, kun je de afstand berekenen die je met die constante snelheid hebt afgelegd. Bij natuurkunde geef je bewegingen schematisch weer met een (plaats,tijd)-diagram, ook wel een (x,t)-diagram genoemd. Je kunt dan precies zien waar een voorwerp is op een bepaald tijdstip.

Het (*x*,*t*)-diagram

De plaats van een voorwerp wordt aangegeven met x. De plaats hangt af van de tijd t. Bij wiskunde noteer je dat als $x(t)$. Bij natuurkunde schrijf je meestal x_t.
Van een bewegende wandelaar zie je op de getallenlijn van figuur 2 waar die persoon steeds 10 seconden later is. We noemen die plaatsen x_0, x_{10}, x_{20}, enzovoort. De plaats waar $x = 0$ m wordt de oorsprong genoemd.



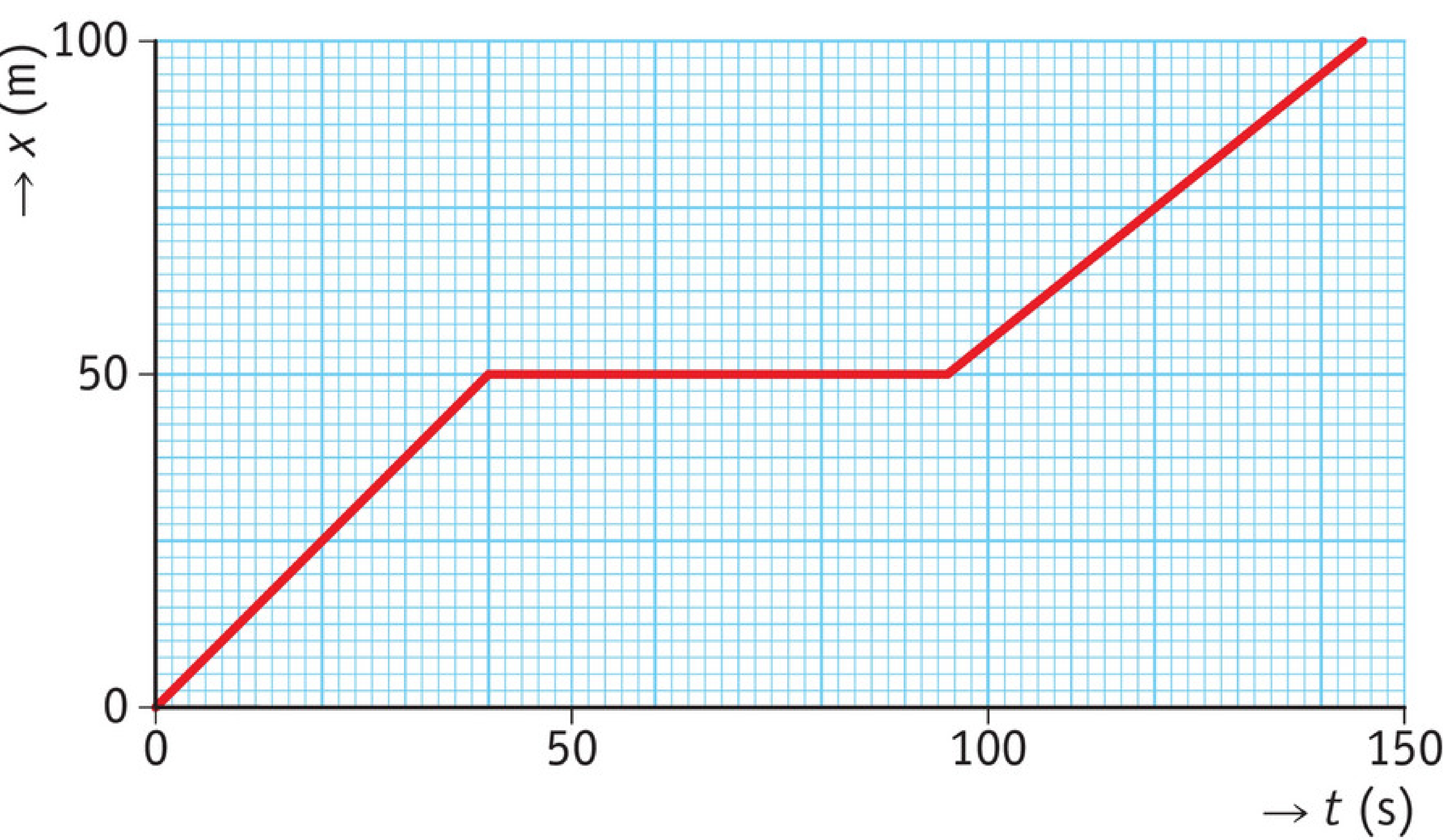
▲ **figuur 2** een wandelaar op een getallenlijn

Als je de beweging van een wandelaar onderzoekt, is een tabel een handige manier om je meetresultaten te presenteren. De meetwaarden kun je uitzetten in zo'n tabel (tabel 4).

▼ **tabel 4** de beweging van een wandelaar

t (s)	*x* (m)
0	0
10	13
20	25
30	37
40	50
50	50
...	...

Van het verloop van de hele beweging van de wandelaar zie je in figuur 3 het (x,t)-diagram. Op $t = 0$ s staat de wandelaar in de oorsprong. Hij begint te lopen en heeft 50,0 m afgelegd na 40,0 s. Vervolgens kun je in het (x,t)-diagram zien dat de wandelaar van $t = 40{,}0$ s tot $t = 95{,}0$ s op dezelfde plaats blijft. Dat betekent dat hij stilstaat. Een horizontale lijn in een (x,t)-diagram betekent dus dat een voorwerp geen snelheid heeft.



▲ **figuur 3** het (*x*,*t*)-diagram van de wandelaar

De wandelaar loopt vervolgens nog een stukje verder tot hij 100 meter heeft afgelegd, dit is de **verplaatsing**. De verplaatsing is $x_{\text{eind}} - x_{\text{begin}}$ en wordt genoteerd als Δx. Voor Δx wordt ook wel de notatie s gebruikt. Het symbool Δ (spreek uit: delta) zul je nog vaker tegenkomen. Natuurkundigen gebruiken het om aan te geven dat er sprake is van een verschil tussen eind en begin. Zo is Δv het verschil tussen eindsnelheid en beginsnelheid: $\Delta v = v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}$. En Δt is het verschil tussen eindtijd en begintijd: $\Delta t = t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}}$.

Let op: Δt en t zijn dus niet hetzelfde. Δt is een **tijdsduur**, een periode waarover je een voorwerp bekijkt, terwijl $t(x)$ een **tijdstip** is waarop je een voorwerp op plaats x bekijkt.

Voorbeeldopgave 6

Bepaal in de volgende situaties Δv.

a Een auto versnelt vanuit stilstand tot 50 km/h.
b Een spaceshuttle versnelt in het heelal van 10 000 km/h tot 12 500 km/h.
c Een wielrenner remt af voor een bocht. In de bocht heeft de wielrenner een snelheid van 6,9 m/s, voor de bocht een snelheid van 9,7 m/s.

Uitwerking
Maak voor elke situatie gebruik van $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$.
a De beginsnelheid van de auto is $v_{begin} = 0$ km/h.
De eindsnelheid is $v_{eind} = 50$ km/h.
Dus $\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 50 - 0 = 50$ km/h.
b De beginsnelheid van de spaceshuttle is $v_{begin} = 10\,000$ km/h en de eindsnelheid is $v_{eind} = 12\,500$ km/h.
Dus $\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 12\,500 - 10\,000 = 2500$ km/h.
c De beginsnelheid is $v_{begin} = 9{,}7$ m/s en de eindsnelheid is $v_{eind} = 6{,}9$ m/s.
Dus $\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 6{,}9 - 9{,}7 = -2{,}8$ m/s. Het verschil in snelheid is dus negatief als een voorwerp afremt!

In het (x,t)-diagram (figuur 3) van de wandelaar zie je dat de plaats x op de verticale as staat en de tijd t op de horizontale as. In de natuurkunde is het gebruikelijk de eerstgenoemde grootheid op de verticale as te zetten en de tweede grootheid op de horizontale as.
In het algemeen: bij een (A,B)-diagram zet je grootheid A op de verticale as en grootheid B op de horizontale as. Bij beide grootheden zet je er de eenheid tussen haakjes achter. Als je uit een diagram gegevens haalt, let dan goed op de eenheden die in het diagram worden gebruikt.
In het (x,t)-diagram van de wandelaar kun je nog iets zien. In de eerste 40 seconden legt hij 50 meter af. Hij staat een tijdje stil en loopt vervolgens weer 50 meter. Over die tweede 50 meter doet hij iets langer. In de grafiek kun je dat zien aan de **steilheid**. Als een voorwerp een hoge snelheid heeft, zal de grafiek snel omhooggaan. Dus hoe steiler een (x,t)-diagram loopt, hoe groter de snelheid van het voorwerp. Soms wordt niet het (x,t)-diagram, maar het (s,t)-diagram van een beweging getekend. Hierin is niet de plaats van het bewegende voorwerp af te lezen, maar de verplaatsing. Als een voorwerp vanuit $x = 0$ m begint te bewegen, is de plaats na een bepaalde tijdsduur gelijk aan de verplaatsing van dat voorwerp tijdens die tijdsduur. In dat geval zijn het (x,t)-diagram en het (s,t)-diagram gelijk aan elkaar.

Het (v,t)-diagram

Je kunt van een beweging ook een (snelheid,tijd)-diagram maken, ook wel een (v,t)-diagram genoemd. Als voorbeeld nemen we weer de wandelaar uit het begin van de paragraaf. Neem aan dat de snelheid van de wandelaar constant is (dit kun je ook aflezen uit het (x,t)-diagram). Een beweging waarbij de snelheid constant is, noemen we een **eenparige beweging**. Je mag dan gebruikmaken van de al bekende formule:

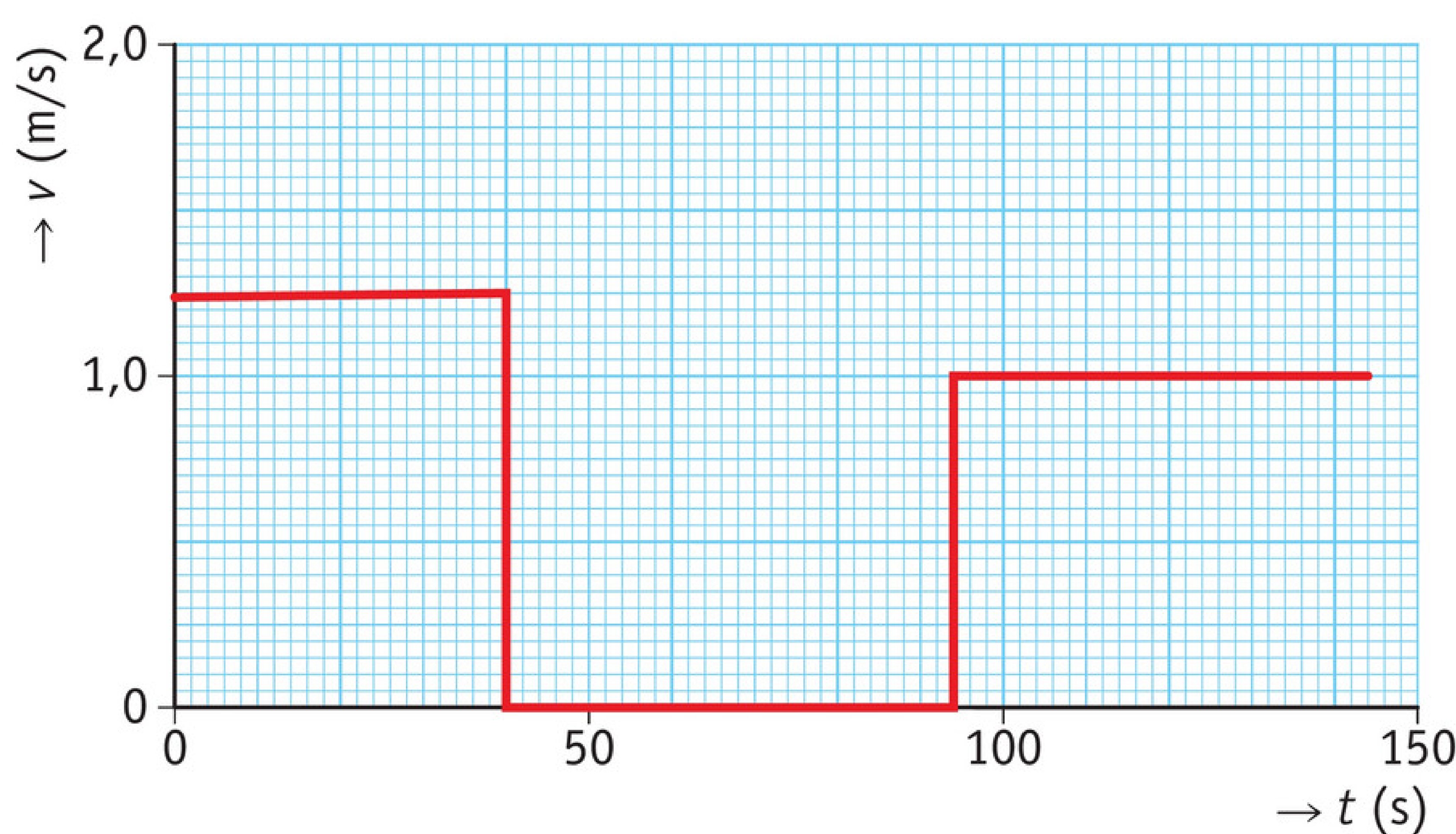
$$v = \frac{s}{t}$$

Hierin is:

- v de snelheid, met als eenheid meter per seconde (m/s), ook wel geschreven als $[v]$ = m/s (de vierkante haakjes zet je om de grootheid waarvan de eenheid wordt aangegeven);
- s de verplaatsing, met als eenheid meter (m). Een andere schrijfwijze hiervoor is $[s]$ = m;
- t de tijdsduur, met als eenheid seconde (s), ook wel geschreven als $[t]$ = s.

De eenheid m/s wordt ook wel geschreven als m · s^{-1} of m s^{-1}. Wiskundigen hebben afgesproken dat s^{-1} niets anders betekent dan $\frac{1}{s^1} = \frac{1}{s}$. Dus is $m \cdot s^{-1} = m \cdot \frac{1}{s} = \frac{m}{s}$ = m/s. Deze notatie met negatieve exponenten kom je vaak tegen in de natuurkunde. Zo wordt bijvoorbeeld de eenheid van dichtheid vaak geschreven als kg m^{-3} in plaats van kg/m^3. m^{-3} betekent immers $\frac{1}{m^3}$

De afstand die de wandelaar in de eerste 40 s aflegt (de verplaatsing), is 50 m. De snelheid is dus $v = \frac{s}{t} = \frac{50}{40}$ = 1,3 m s^{-1}. Daarna staat hij 55 s stil en loopt vervolgens 50 m verder met een snelheid van $v = \frac{s}{t} = \frac{50}{50}$ = 1,0 m s^{-1}. Controleer zelf dat de tijdsduur van de laatste beweging inderdaad 50 s is. Het (v,t)-diagram ziet er dan uit als in figuur 4.



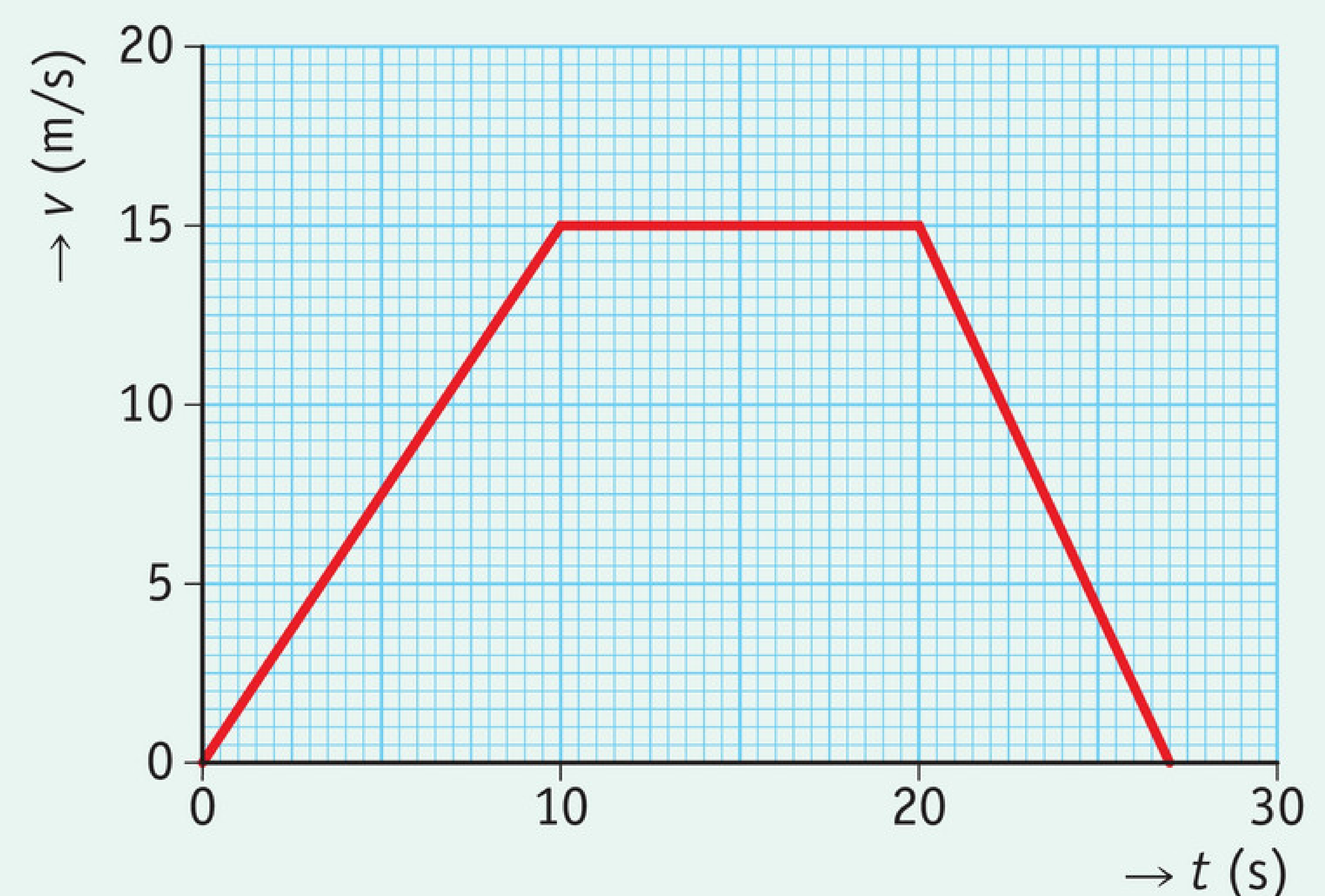
▲ **figuur 4** het (v,t)-diagram van de wandelaar

In het (v,t)-diagram van figuur 4 valt iets op: de oppervlakte van de linker rechthoek is 40 s × 1,25 m s^{-1} = 50 m. Dit is precies de afstand die de wandelaar aflegt in de eerste 40 s. De oppervlakte van de rechter rechthoek is 50 s × 1,0 m s^{-1} = 50 m ofwel ook precies de afstand die tussen t = 95 s en t = 145 s door de wandelaar is afgelegd. Kortom: de oppervlakte onder de grafiek in een (v,t)-diagram is de afgelegde afstand. Je rekent hier in feite met de formule $s = v \cdot t$.

Als je de oppervlakte onder een (v,t)-diagram moet bepalen, moet je gebruikmaken van de eenheden langs de assen, in het voorgaande voorbeeld dus seconde en meter per seconde. Meter per seconde keer seconde geeft meter, de eenheid van verplaatsing. Let daar dus goed op!

Voorbeeldopgave 7

In figuur 5 zie je het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp.
Bepaal de afstand die in totaal is afgelegd.



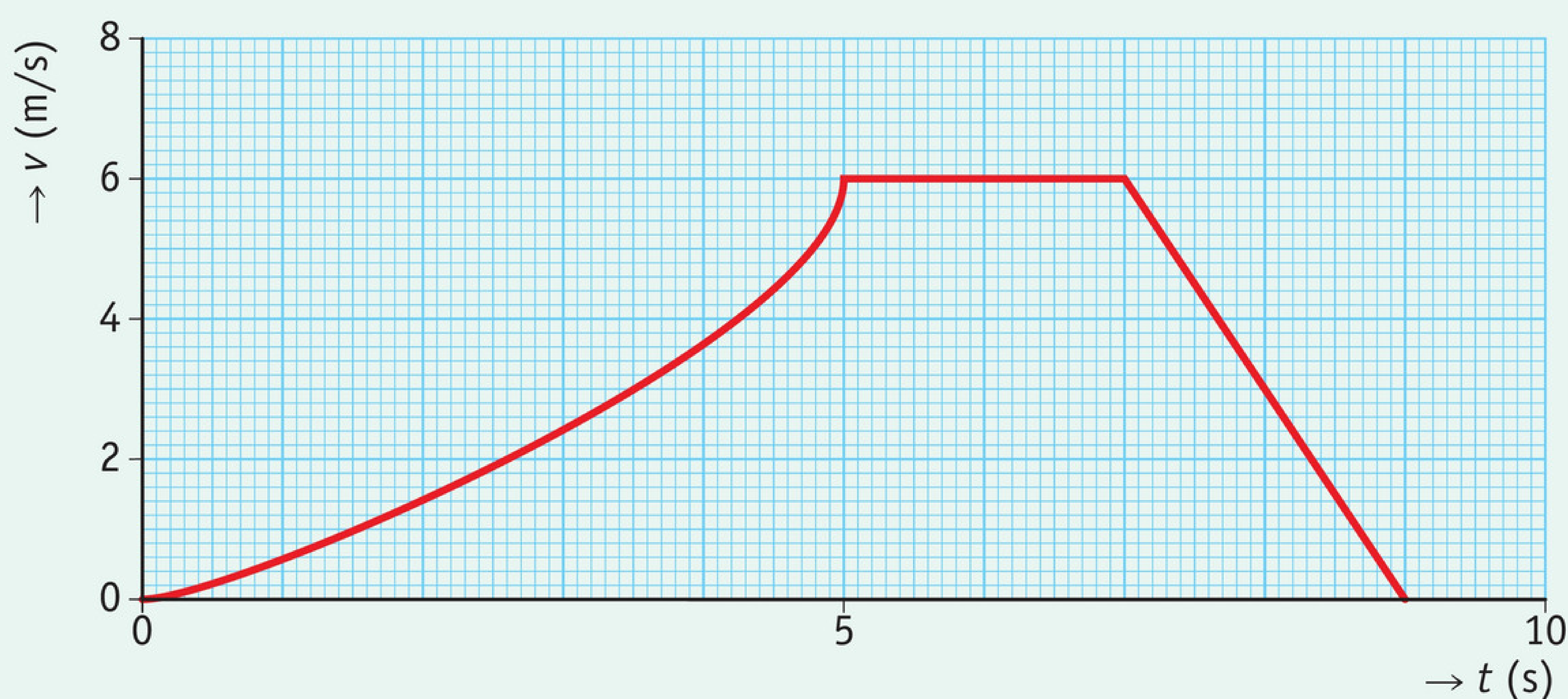
▶ **figuur 5** het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp

Uitwerking
De totale afstand is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek. Je kunt de oppervlakte in dit geval verdelen in twee driehoeken en een rechthoek. De oppervlakte van de eerste driehoek is ½ × 10,0 × 15,0 = 75,0 m, de oppervlakte van de rechthoek is 10,0 × 15,0 = 150 m en de oppervlakte van de tweede driehoek is ½ × 7,0 × 15,0 = 53 m. De totaal afgelegde weg is dus: 75,0 + 150 + 53 = 278 m.

Soms komt het voor dat het (v,t)-diagram geen rechte lijnen bevat. Je kunt in dat geval de oppervlakte bepalen door hokjes te tellen.

Voorbeeldopgave 8

In figuur 6 zie je het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp.
Bepaal de totaal afgelegde weg s.



▲ **figuur 6** het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp

Uitwerking
Het eerste deel van de grafiek is een gebogen lijn. Voor dit deel moet je het aantal grote hokjes onder de grafiek schatten. Het tweede deel kun je onderverdelen in een rechthoek en een driehoek en kun je dus uitrekenen.
Tot t = 5,0 s: 5,5 hokjes ≙ 11 m, want 1 hokje ≙ 2,0 m s^{-1} × 1,0 s = 2,0 m.
Van 5,0 tot 7,0 s is de oppervlakte onder de rechthoek: 6,0 × 2,0 = 12 m.
Van 7,0 tot 9,0 s is de oppervlakte onder de driehoek: ½ × 6,0 × 2,0 = 6,0 m.
De totaal afgelegde weg is de som van de drie afstanden: 29 m.

Modelleren

Als je wandelt met een constante snelheid van 1,4 m s^{-1}, kun je de afgelegde afstand na 2,0 s berekenen met de formule $s = v \cdot t$. Je vindt dan $s = v \cdot t$ = 1,4 × 2,0 = 2,8 m.
Maar je kunt deze afstand ook door een computerprogramma (bijvoorbeeld Coach) laten uitrekenen. Je stelt dan een model op van deze beweging. Zo'n model bestaat uit een aantal modelregels, startwaarden en constanten.

Het model van een eenparige beweging kan er als volgt uitzien:

modelregels	startwaarden en constanten
t = t + dt ds = v*dt s = s + ds	t = 0 dt = 0,50 v = 1,4 s = 0

De startwaarden geven de beginsituatie aan. De beweging start op $t = 0$ s en dan is de verplaatsing s natuurlijk nog 0 m. De snelheid (een constante) bedraagt 1,4 m s^{-1}. De computer verdeelt de tijd in kleine tijdstapjes dt die in dit model 0,50 s groot zijn gekozen. Het is gebruikelijk de eenheden weg te laten bij de startwaarden en constanten in een model.
De eerste rekenregel van het model ($t = t + \mathrm{d}t$) lijkt niet te kloppen. Maar het =-teken moet worden gelezen als ‘wordt’. De computer krijgt in deze rekenregel de opdracht om het volgende tijdstip te berekenen door bij het oude tijdstip het gekozen tijdstapje dt op te tellen.
In de tweede rekenregel berekent de computer de toename van de verplaatsing (ds) gedurende het tijdstapje dt.
In de derde rekenregel berekent de computer de nieuwe totale verplaatsing vanaf het begin, door de toename van de verplaatsing (ds) op te tellen bij de oude verplaatsing. Ook in de derde rekenregel moet het =-teken worden gelezen als ‘wordt’.

Je kunt ook handmatig in een aantal rekenslagen uitrekenen hoe de computer het model doorrekent.

Rekenslag 1

t = t + dt wordt t = 0 + 0,50 = 0,50	Voor *t* wordt in de eerste rekenslag de startwaarde ingevuld.
ds = v*dt wordt ds = 1,4 × 0,50 = 0,70	Voor *v* wordt in elke rekenslag de constante ingevuld.
s = s + ds wordt s = 0 + 0,70 = 0,70	Voor *s* wordt in de eerste rekenslag de startwaarde ingevuld.

Rekenslag 2

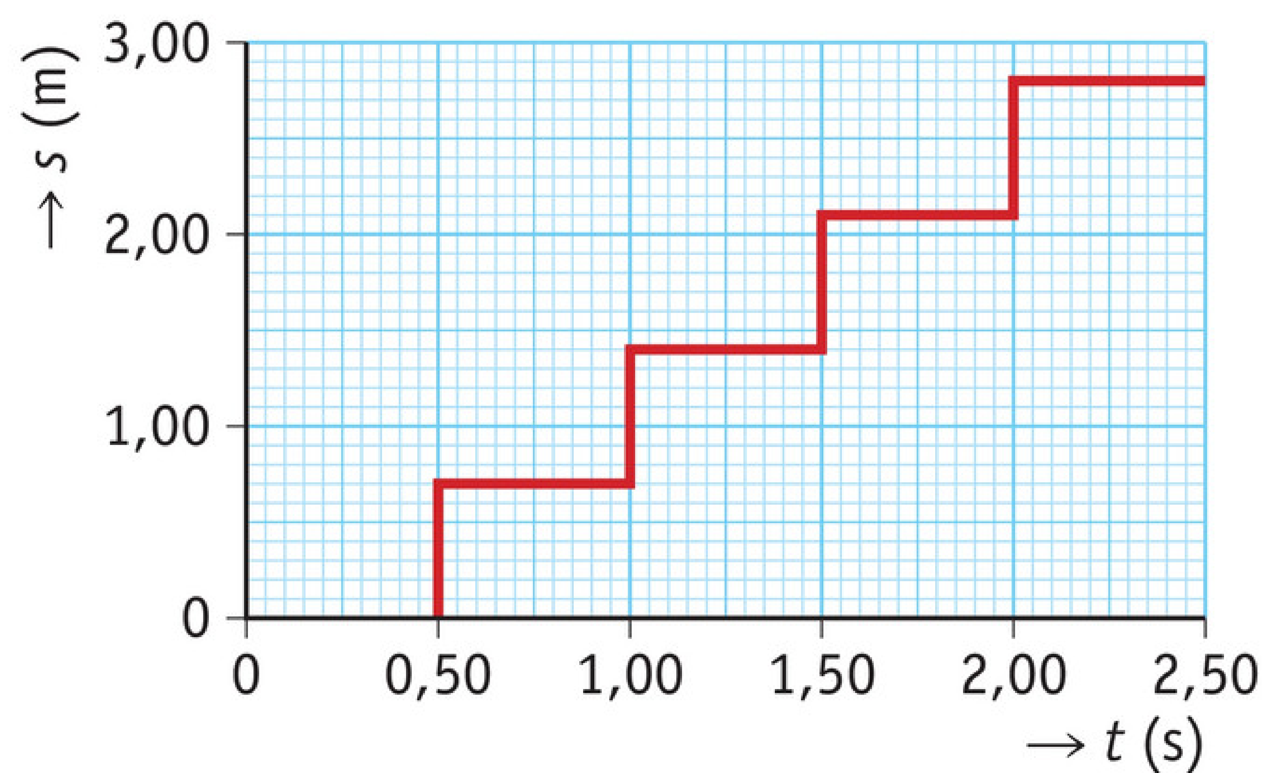
t = t + dt wordt t = 0,50 + 0,50 = 1,00	Voor *t* wordt in de tweede rekenslag de bij de eerste rekenslag berekende waarde van *t* ingevuld.
ds = v*dt wordt ds = 1,4 × 0,50 = 0,70	Voor *v* wordt in elke rekenslag de constante ingevuld.
s = s + ds wordt s = 0,70 + 0,70 = 1,40	Voor *s* wordt in de tweede rekenslag de bij de eerste rekenslag berekende waarde van *s* ingevuld.

Rekenslag 3

t = t + dt wordt t = 1,00 + 0,50 = 1,00	Voor *t* wordt in derde rekenslag de bij de tweede rekenslag berekende waarde van *t* ingevuld.
ds = v*dt wordt ds = 1,4 × 0,50 = 0,70	Voor *v* wordt in elke rekenslag de constante ingevuld.
s = s + ds wordt s = 1,40 + 0,70 = 2,10	Voor *s* wordt in de derde rekenslag de bij de tweede rekenslag berekende waarde van *s* ingevuld.
enzovoort	

Alleen in de eerste rekenslag worden door de computer de startwaarden gebruikt. Constanten worden steeds opnieuw gebruikt.

Het computerprogramma kan een (s,t)-diagram tekenen van een model. Voor het voorbeeld ziet dat (s,t)-diagram eruit zoals in figuur 7. In dit diagram zijn vier rekenslagen getekend.



▲ **figuur 7** het (s,t)-diagram met tijdstap 0,50 s

Bij het model wordt de verplaatsing s niet geleidelijk groter, maar met sprongetjes. Na elke tijdstap neemt de verplaatsing met de waarde ds toe. De computer telt de toename van de verplaatsing ds pas aan het eind van zo'n tijdstap bij de oude verplaatsing op.

Onthoud!

- De verplaatsing s is de afstand die is afgelegd.
- Een eenparige beweging is een beweging met constante snelheid. Je mag dan altijd $v = \frac{s}{t}$ gebruiken.
- De oppervlakte onder de grafiek in een (v,t)-diagram is gelijk aan de verplaatsing.

Opdrachten

23 Snelheid en verplaatsing
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg uit wat Δv en Δx betekenen.
b Uit een (v,t)-diagram kun je de snelheid en de verplaatsing bepalen. Leg uit op welke wijze.
c Hoe kun je in een (v,t)-diagram zien dat de snelheid niet constant is?

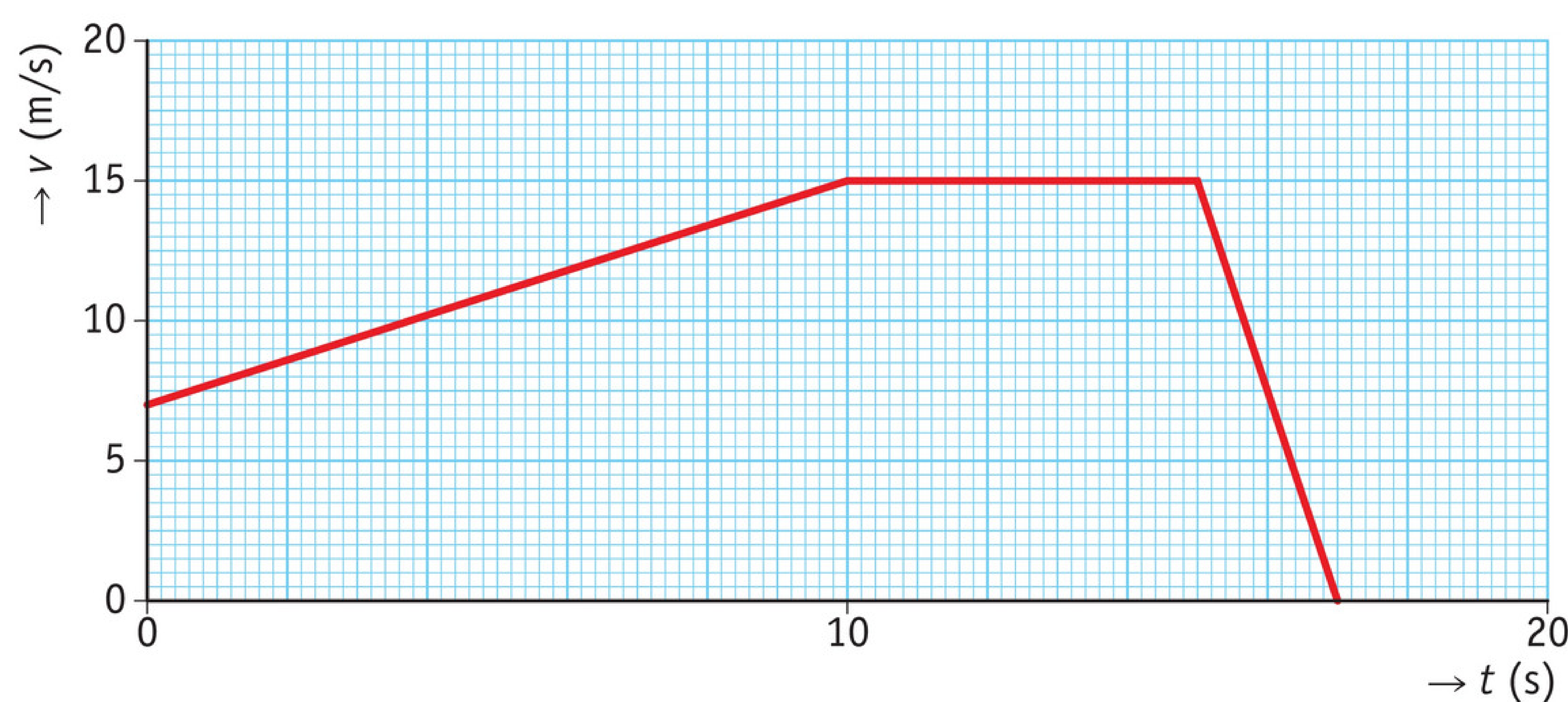
24 Snelheden omrekenen
Reken om.
a 72 km/h = … m/s
b 25 km/h = … m s^{-1}
c $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s = … km/h
d 100 m s^{-1} = … km h^{-1}
e 32 knopen = … km h^{-1}

25 Parachutist
Een parachutist springt uit een vliegtuig. De laatste 800 m van de val heeft de parachutist een constante snelheid. De parachutist doet 5 min over deze 800 m.
Bereken de snelheid waarmee de parachutist de grond bereikt.

26 Verplaatsing, tijdsduur en snelheid
In deze opdracht voeren alle voorwerpen eenparige bewegingen uit.
- **a** Bereken de snelheid, als gegeven is dat s = 150 km en t = 4 uur.
- **b** Bereken de verplaatsing, als gegeven is dat t = 3600 s en v = 20 m s^{-1}.
- **c** Bereken de afstand, als gegeven is dat t = 150 s en v = 30 km h^{-1}.
- **d** Bereken de snelheid in km h^{-1}, als gegeven is dat s = 100 m en t = 0,0056 h.
- **e** Bereken de tijd die een wielrenner nodig heeft om een afstand van 190 km af te leggen met een constante snelheid van 35 km h^{-1}.

27 Lichtsnelheid
De snelheid van het licht kun je vinden in Binas.
- **a** Bereken hoelang licht erover doet om vanaf de zon de aarde te bereiken (de afstand van de zon tot de aarde kun je ook vinden in Binas). Geef je antwoord in seconden en uren.
- **b** Bereken hoeveel langer zonlicht erover doet om Mars te bereiken.
- **c** Geef in twee schetsen weer hoe de aarde en Mars ten opzichte van de zon staan als de afstand tussen beide planeten maximaal is en als de afstand minimaal is.
- **d** Bepaal de minimale en maximale afstand tussen de aarde en Mars.

28 Fietser
Bekijk het (v,t)-diagram van een fietser in figuur 8.

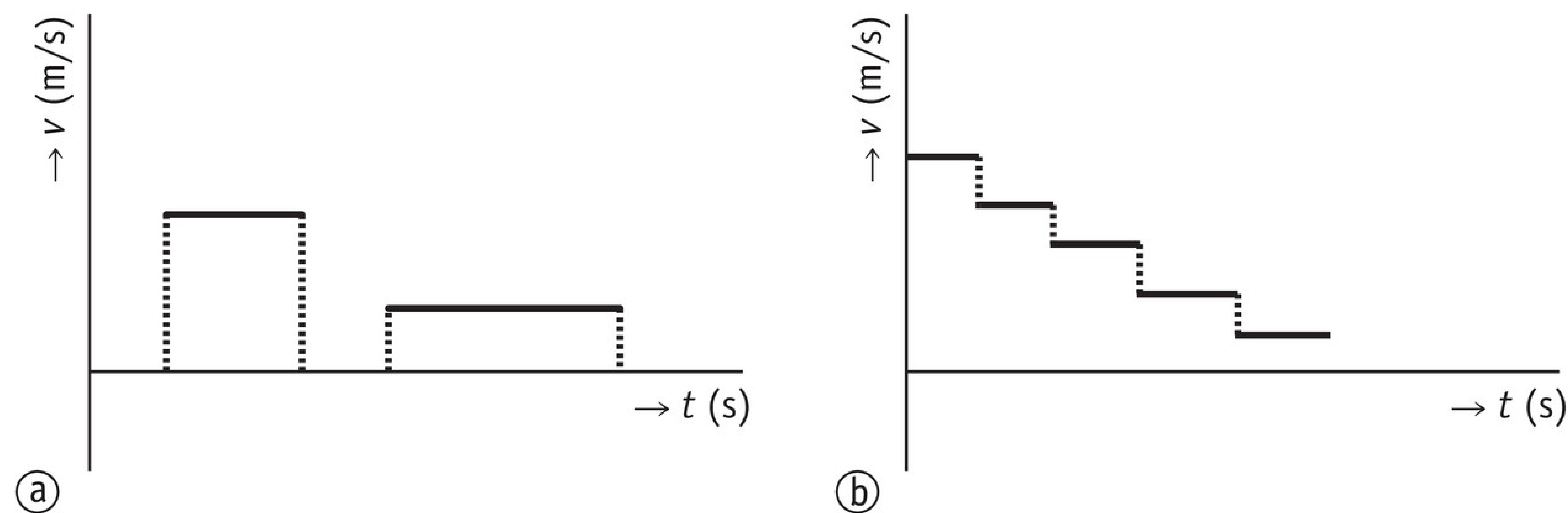


▲ **figuur 8** het (v,t)-diagram van een fietser

- **a** Bepaal de afstand die is afgelegd tussen t = 0 s en t = 10 s.
- **b** Wat voor soort beweging vindt plaats tussen t = 10 s en t = 15 s?
- **c** Wat voor soort beweging vindt plaats tussen t = 15 s en t = 17 s?
- **d** Bepaal de verplaatsing tussen t = 15 s en t = 17 s.

29 Bewegend voorwerp
Een bewegend voorwerp legt in 7,5 s een afstand af van 22,5 m. Na 15 s heeft het voorwerp een afstand van 43 m afgelegd.
- **a** Beweegt dit voorwerp eenparig? Licht je antwoord toe.
- **b** Welke afstand had het voorwerp bij de tweede tijdmeting moeten afleggen, opdat het een eenparige beweging zou zijn? Licht je antwoord toe.

+30 (s,t)-diagram en (v,t)-diagram
Schets van de (v,t)-diagrammen in figuur 9 het bijbehorende (s,t)-diagram.



▲ **figuur 9** twee (v,t)-diagrammen

31 Model van een eenparige beweging
Een wandelaar loopt met een constante snelheid van 1,4 m s^{-1}.

- **a** Teken het (s,t)-diagram van deze wandelaar van 0 s tot 2,0 s.
- **b** Neem tijdstappen van 0,25 s.
  Stel voor deze beweging een model op en schrijf ook de startwaarden en eventuele constanten op.
- **c** Reken de eerste drie rekenslagen van dit model na.
- **d** Teken het (s,t)-diagram van dit model.
- **e** Leg uit of het (s,t)-diagram bij een tijdstap van 0,50 s of een tijdstap van 0,25 s het werkelijke (s,t)-diagram het best benadert.
- **f** Wat kun je in een model doen om het werkelijke (s,t)-diagram zo goed mogelijk te benaderen?

4 Gemiddelde en momentane snelheid

In deze paragraaf leer je:

- wat de gemiddelde snelheid is;
- hoe je de gemiddelde snelheid kunt berekenen en bepalen uit een (x,t)-diagram;
- wat de momentane snelheid is;
- hoe je de momentane snelheid kunt bepalen uit een (x,t)-diagram.

De meeste bewegingen vinden niet plaats met constante snelheid. Je kunt dan niet spreken over dé snelheid. Maak dus onderscheid tussen de gemiddelde snelheid en de snelheid op een bepaald moment.

Gemiddelde snelheid

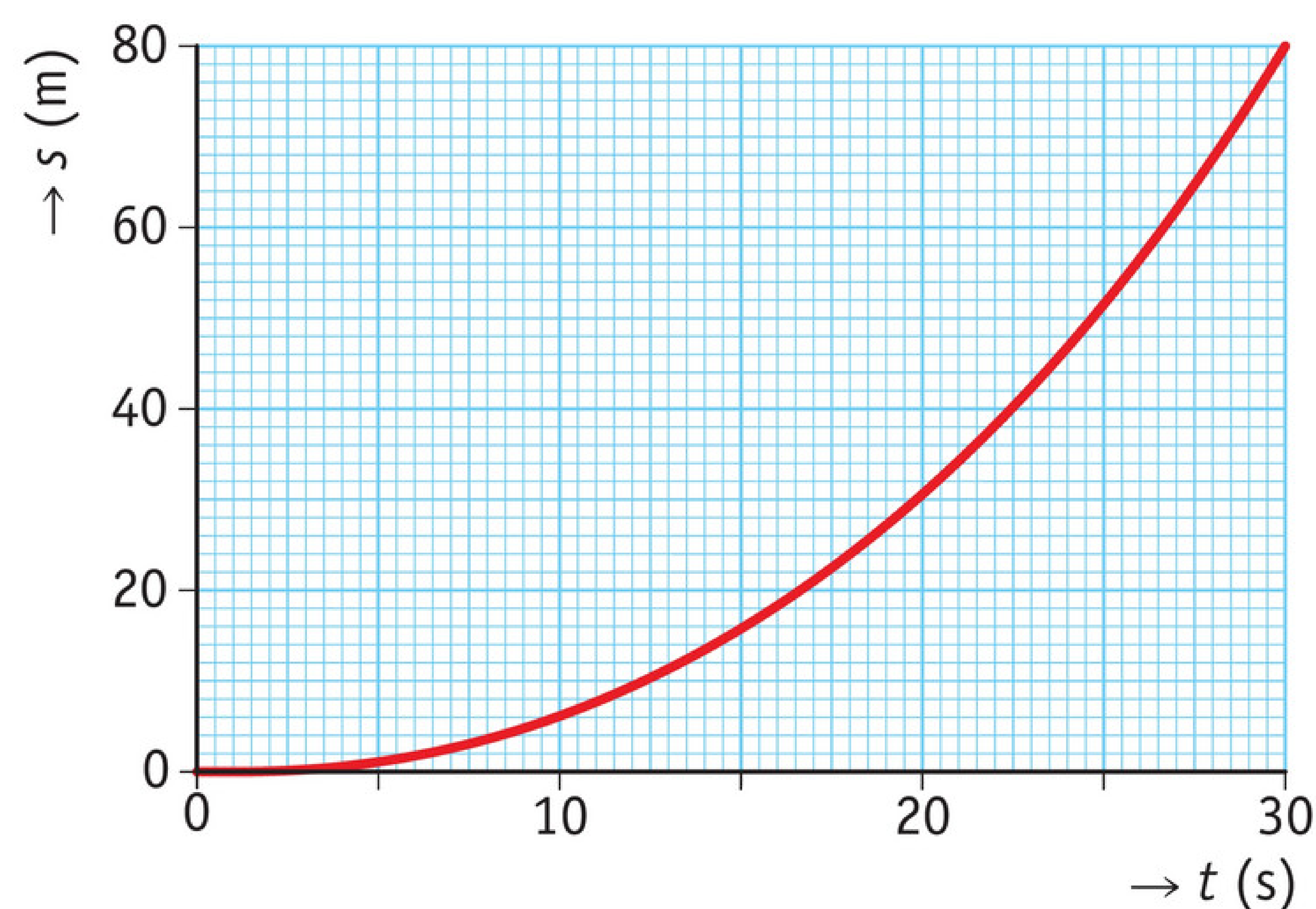
Als je naar school fietst, heb je geen constante snelheid. Soms ga je wat langzamer, dan weer wat sneller. Hetzelfde gebeurt met gymnastiek als je een rondje moet rennen: je snelheid verandert voortdurend. Deze bewegingen worden **niet-eenparige bewegingen** genoemd.

Je mag de formule $v = \frac{s}{t}$ bij dit soort bewegingen *niet* gebruiken, omdat er geen sprake is van een constante snelheid. Er kan nog wel over een **gemiddelde snelheid v_{gem}** worden gesproken. Stel je voor dat een schaatser meedoet aan de 5000 m. De schaatser begint fel en bereikt al na korte tijd een snelheid van 45 km/h. Na 3500 m is de schaatser echter behoorlijk moe en kan hij de hoge snelheid niet meer volhouden. Zijn snelheid valt terug tot 25 km/h. Hij schaatst de wedstrijd uit en finisht na 8 minuten en 27 seconden. In totaal heeft hij (8 × 60) + 27 seconden geschaatst. Dat is 507 seconden. De gemiddelde snelheid van de schaatser is

$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5000}{507} = 9{,}86 \text{ m s}^{-1}.$$

Als de schaatser deze snelheid vanaf $t = 0$ s had vastgehouden, dan zou hij ook 8 minuten en 27 seconden nodig hebben gehad om de afstand af te leggen. De gemiddelde snelheid is dus de constante snelheid waarbij een voorwerp in die tijdsduur dezelfde afstand zou hebben afgelegd.

Kijk naar het (s,t)-diagram van een niet-eenparige beweging in figuur 10.



▲ **figuur 10** het (s,t)-diagram van een niet-eenparige beweging

Je kunt nu de gemiddelde snelheid van verschillende perioden (ook wel tijdsintervallen genoemd) bepalen. Kijk bijvoorbeeld naar de periode $t = 0{,}0$ s tot $t = 20{,}0$ s. We noteren zo'n tijdsinterval ook wel als Δt [0,0 s; 20,0 s].
De gemiddelde snelheid is de afstand die in dat stuk is afgelegd, gedeeld door de tijdsduur:

$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{30}{20{,}0} = 1{,}5 \text{ m s}^{-1}.$$

Kijk nu naar de periode $t = 20{,}0$ s tot $t = 30{,}0$ s. De gemiddelde snelheid is hier:

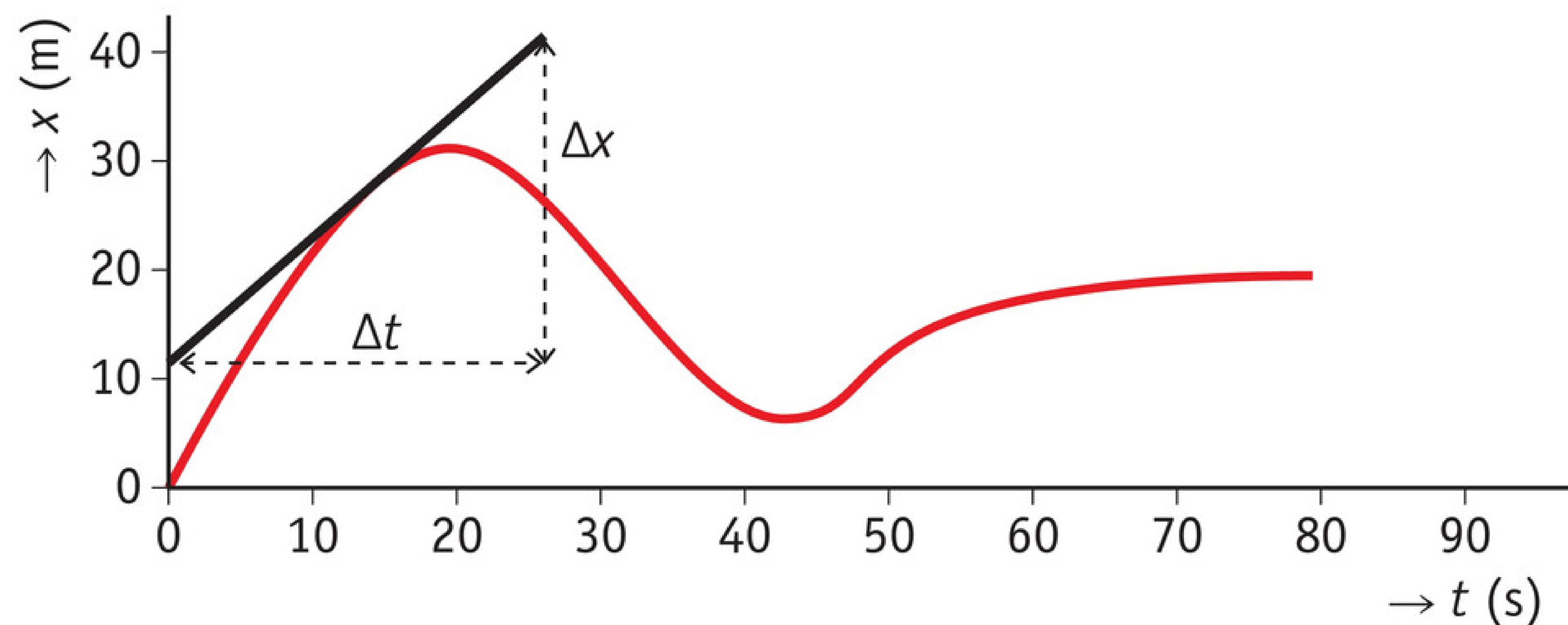
$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{50}{10{,}0} = 5{,}0 \text{ m s}^{-1}$. Je kunt zien dat de gemiddelde snelheid in het tweede tijdsinterval groter is. Dat is ook te zien in het (s,t)-diagram, omdat de grafiek daar steiler omhoog gaat (hoe steiler, hoe sneller). De gemiddelde snelheid over de gehele beweging is:

$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{80}{30} = 2{,}7 \text{ m s}^{-1}.$$

Momentane snelheid

De gemiddelde snelheid bereken je altijd over een bepaalde periode. Maar als je tijdens het rennen even sprint, dan ga je natuurlijk veel sneller. De snelheid die je op een bepaald *moment* hebt, wordt de **momentane snelheid v_t** genoemd. Om de momentane snelheid te bepalen, moet je weten hoeveel afstand het voorwerp aflegt in een zeer korte tijdsduur. Je berekent dan in feite de gemiddelde snelheid over een zeer kleine periode.

Bekijk het (x,t)-diagram van een bromvlieg die door het huis vliegt (figuur 11).



▲ **figuur 11** het (x,t)-diagram van een bromvlieg

Stel dat je de snelheid op tijdstip t = 15 s wilt bepalen. Het eerste wat je dan moet doen, is de **raaklijn** in de grafiek tekenen op het tijdstip waarvan je de snelheid wilt weten. De raaklijn is een rechte lijn die even schuin loopt als de grafiek op dat punt zelf doet. De steilheid van deze raaklijn is de momentane snelheid.
Je tekent de raaklijn in dit geval op t = 15 s. Teken de raaklijn zo lang mogelijk, zodat je de momentane snelheid zo nauwkeurig mogelijk kunt bepalen. Bij het stuk lijn dat je hebt getekend, hoort een afstand Δx en een tijdsduur Δt (figuur 11). De momentane snelheid is nu:

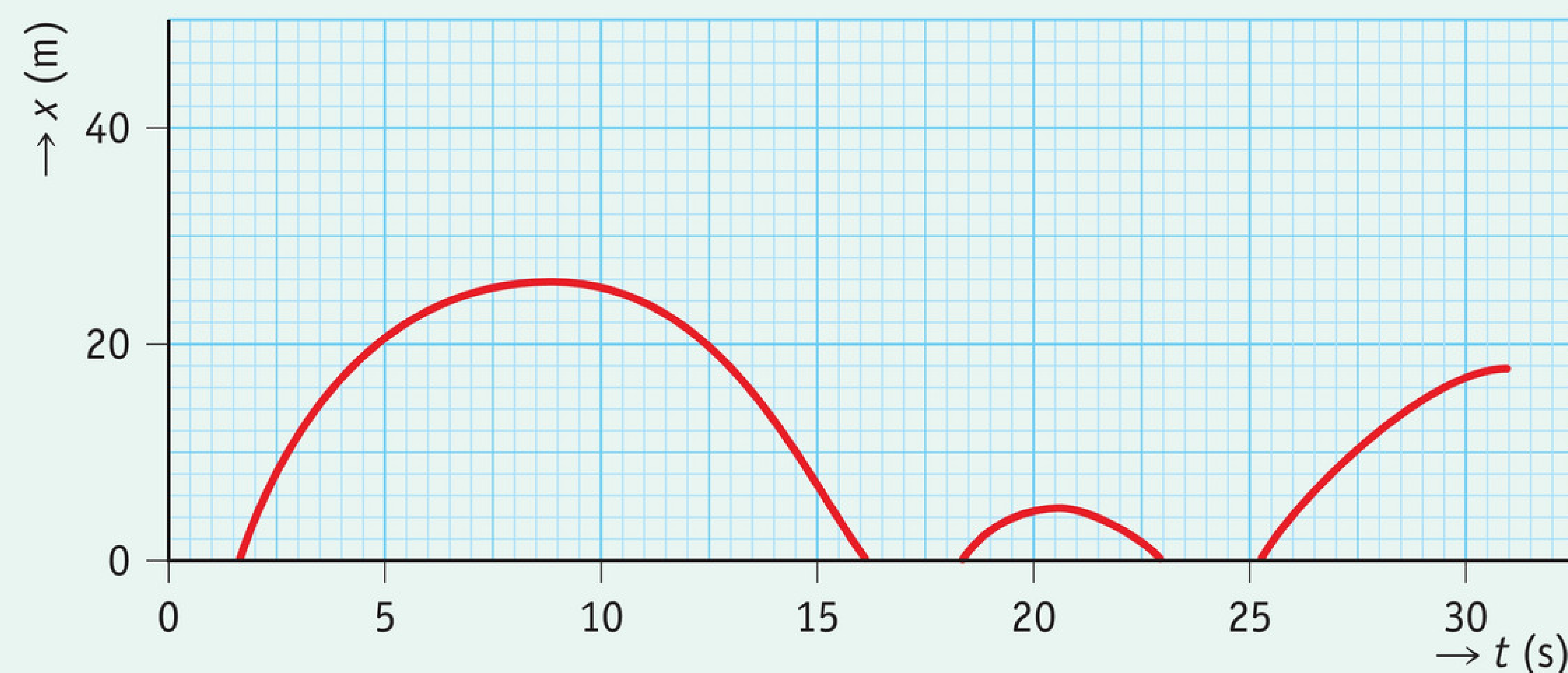
$$v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

Hierin is:
- v de momentane snelheid in meter per seconde (m/s = m s^{-1});
- Δx de verplaatsing horende bij de raaklijn in meter (m);
- Δt de tijdsduur horende bij de raaklijn in seconde (s).

De momentane snelheid is dus de steilheid of helling van de raaklijn. De steilheid of helling van een raaklijn wordt in de wiskunde de **richtingscoëfficiënt** genoemd.

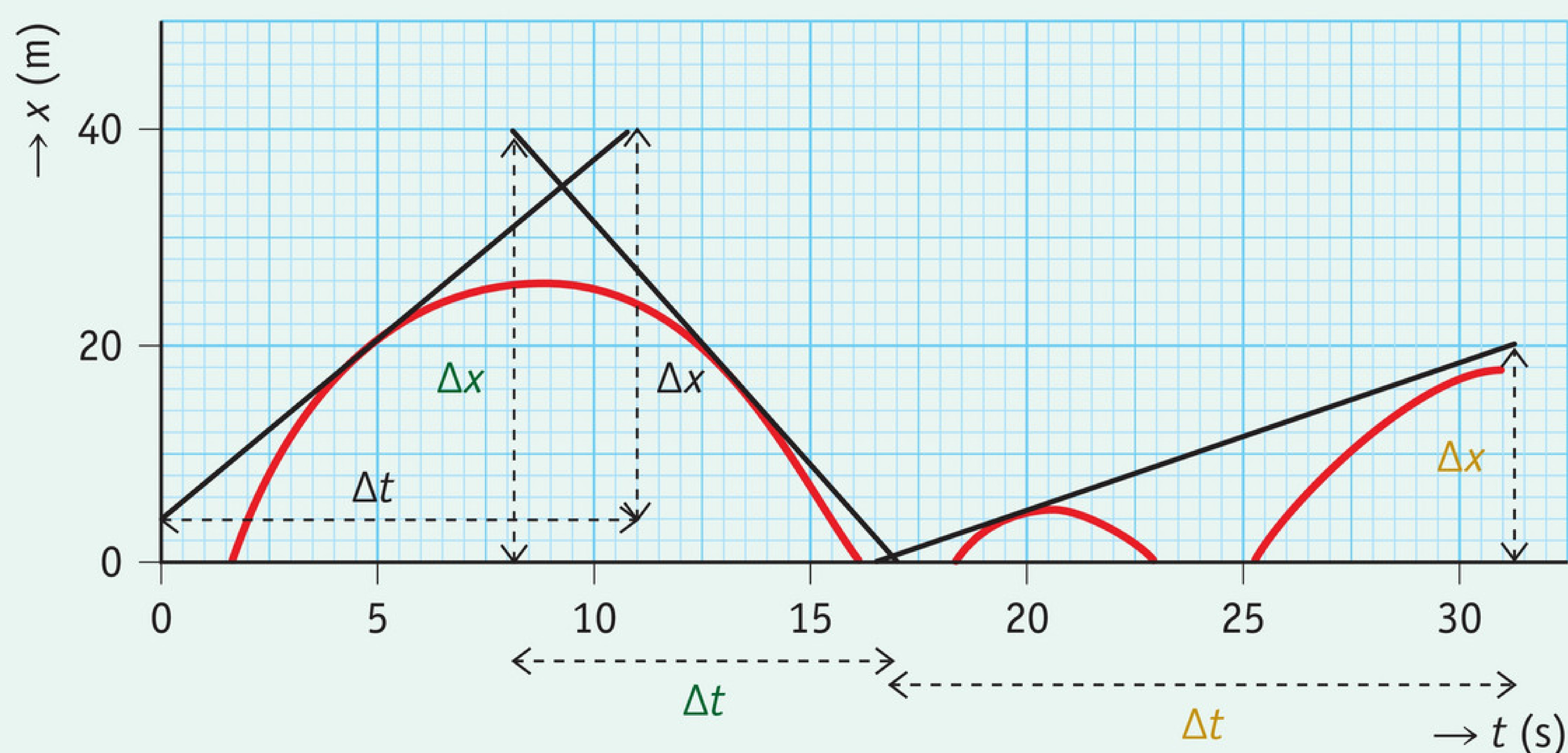
Voorbeeldopgave 9

Bekijk het (x,t)-diagram van een vogel in figuur 12.
Bepaal de snelheid op de tijdstippen t = 5,0 s, t = 13 s en t = 20 s.



◀ **figuur 12** het (x,t)-diagram van een vogel

Uitwerking
De snelheid op t = 5,0 s is de helling van de raaklijn op t = 5,0 s.
In figuur 13 zijn drie raaklijnen aan de grafiek getekend.



▲ **figuur 13** bepaling van momentane snelheden met het hellingsgetal

Lees af dat voor de getekende raaklijn in figuur 13 op t = 5,0 s geldt: $\Delta x = 40 - 4 = 36$ m
Voor Δt geldt dan: $\Delta t = 11$ s

$$v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}} = \frac{36}{11} = 3{,}3 \text{ m s}^{-1}$$

Op dezelfde wijze bereken je ook de snelheden op t = 13 s en t = 20 s.
Voor de raaklijn op t = 13 s geldt:
$\Delta x = 0 - 40 = -40$ m
$\Delta t = 17 - 8 = 9$ s

$$v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}} = \frac{-40}{9} = -4{,}4 \text{ m s}^{-1}$$

Het minteken geeft aan dat de snelheid negatief is, dus de vogel beweegt in tegengestelde richting.

Voor de raaklijn op t = 20 s geldt:
$\Delta x = 20 - 0 = 20$ m
$\Delta t = 31{,}3 - 16{,}5 = 14{,}8$ s

$$v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}} = \frac{20}{14{,}8} = 1{,}4 \text{ m s}^{-1}$$

Ook in een (s,t)-diagram kun je de momentane snelheid bepalen. Dat gaat op dezelfde manier als in een (x,t)-diagram: de momentane snelheid is de steilheid van de raaklijn.

$$v = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

Onthoud!

- Er zijn drie soorten snelheden:
  - De constante snelheid v van een eenparige beweging. Gebruik de formule $v = \frac{s}{t}$
  - De gemiddelde snelheid v_{gem} die je voor alle soorten bewegingen kunt uitrekenen. Gebruik de formule $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
  - De momentane snelheid v_t of $v(t)$. Dit is de snelheid die een voorwerp op een bepaald moment heeft. Teken de raaklijn op een tijdstip in de (x,t)- of (s,t)-grafiek. De steilheid hiervan is de momentane snelheid: $v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$ en $v = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$

Opdrachten

32 Gemiddelde en momentane snelheid

Beantwoord de volgende vragen.

a Leg het verschil uit tussen gemiddelde snelheid en momentane snelheid.

b Hoe bepaal je de snelheid op een tijdstip uit het (x,t)-diagram?

33 Triatlon

Een deelnemer aan een halve triatlon legt 1,9 km zwemmen af in 0,80 uur, 90 km fietsen in 2,5 uur en 21 km hardlopen in 1,7 uur.

a Bereken de gemiddelde snelheid tijdens het zwemmen in meter per seconde (m s^{-1}).

b Bereken de gemiddelde snelheid tijdens het fietsen in m s^{-1}.

c Bereken de gemiddelde snelheid tijdens het hardlopen in m s^{-1}.

d Bereken de gemiddelde snelheid voor de halve triatlon in m s^{-1}.

34 Soorten snelheid

Leg uit welk ‘soort’ snelheid in de volgende voorbeelden wordt bedoeld: de constante, de gemiddelde of de momentane snelheid.

a Een tennisser serveert de bal met een snelheid van 230 km h^{-1}.

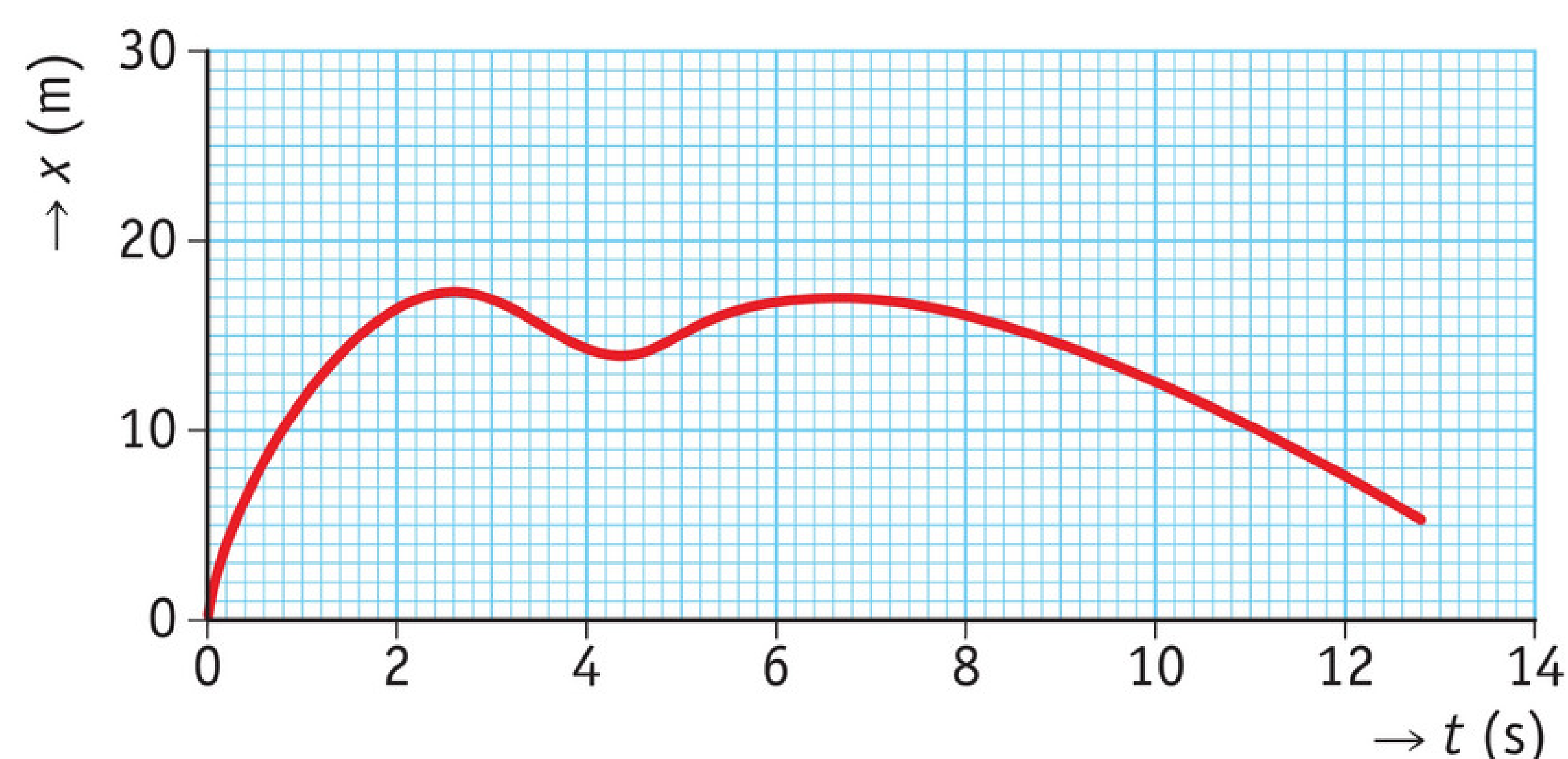
b De snelheid van het licht is 299 792,458 km s^{-1}.

c In de LHC-deeltjesversneller in CERN bereiken deeltjes een snelheid van 99,999 9964% van de lichtsnelheid.

d Met een snelheid van 100 km h^{-1} ben je na 10 uur in het noorden van Italië.

e De maximale snelheid van een slinger.

35 Momentane snelheid
Bekijk het (x,t)-diagram in figuur 14.



▲ **figuur 14** het (x,t)-diagram van een willekeurige beweging

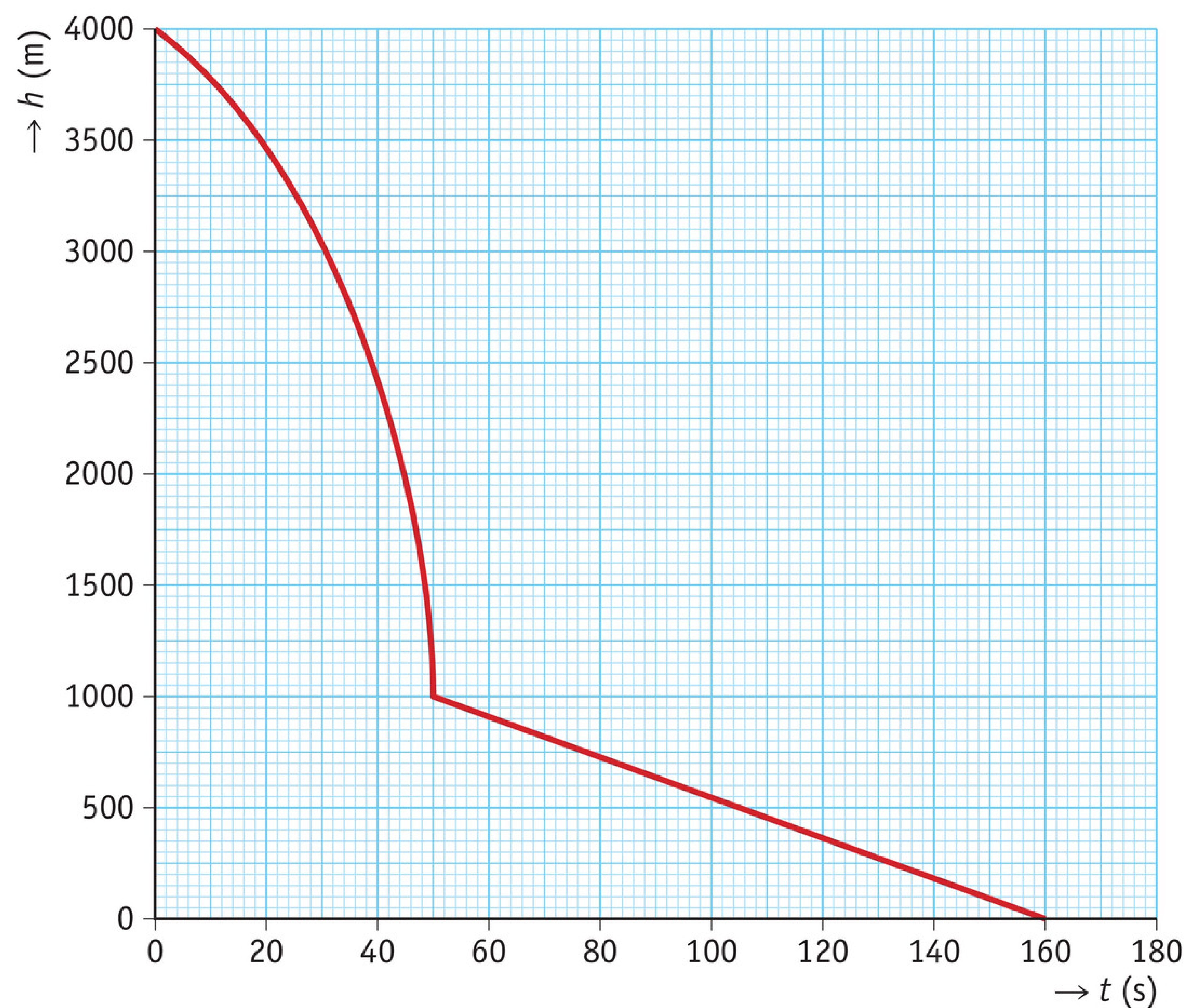
Bepaal op de volgende tijdstippen de momentane snelheid.
a t = 2,0 s
b t = 4,0 s
c t = 8,0 s
d t = 11,0 s

36 Treinrit
Je rijdt van Utrecht naar Venlo. Je rijdt 1,0 h met een gemiddelde snelheid van 80 km/h, daarna 0,50 h 100 km/h en vervolgens nog 15 min 50 km/h.
Bereken je gemiddelde snelheid van Utrecht naar Venlo.

37 Gemiddelde snelheid
Bekijk het (x,t)-diagram in figuur 14.
Bepaal de gemiddelde snelheid in de volgende tijdsintervallen.
a tussen t = 0,0 s en t = 4,0 s
b tussen t = 4,0 s en t = 8,0 s
c tussen t = 8,0 s en t = 12 s
d tussen t = 0,0 s en t = 12 s

38 Lopen en rennen
Erik wandelt een halfuur lang met een gemiddelde snelheid van 4,2 km h^{-1}. Daarna rent hij gedurende 12 s met een gemiddelde snelheid van 12 km h^{-1}. Daarna wandelt hij weer een halfuur met een gemiddelde snelheid van 3,8 km h^{-1}.
Beredeneer, zonder daadwerkelijk te rekenen, dat de gemiddelde snelheid van Erik 4,0 km h^{-1} zal zijn.

39 Parachutesprong
Een parachutist springt op 4000 m hoogte uit een vliegtuig. In figuur 15 is de hoogte h van de parachutist uitgezet tegen de valtijd t.



▲ **figuur 15** het (h,t)-diagram van een parachutist

a Hoe zie je aan de grafiek dat de parachutist de laatste 110 s een eenparige beweging uitvoert?
b Bepaal de gemiddelde snelheid van de hele sprong.
c Bepaal de snelheid tijdens de eenparige beweging waarmee de parachutist de grond bereikt.
d Bepaal de snelheid op t = 20 s.

+40 Autocircuit
Op het circuit van Spa Francorchamps in België wordt een formule 1-race gehouden. Coureur A heeft een gemiddelde snelheid van 155,7 km h^{-1}. Coureur B heeft een gemiddelde snelheid van 145,2 km h^{-1}. Na 40 min haalt coureur A coureur B voor de eerste keer in. Bereken de lengte van één rondje.

+41 Snelheidscontroles
De politie voert regelmatig snelheidscontroles uit om te meten of automobilisten niet te snel rijden. De politie gebruikt daarbij voornamelijk twee methoden. De meest gebruikte methode is controle met een 'flitser': een fotocamera die langs de weg staat en een foto maakt van alle auto's die op die plaats te snel rijden (dus een te grote momentane snelheid hebben). Een andere methode is de trajectcontrole. Hierbij wordt over een bepaalde afstand bekeken hoe snel iemand gemiddeld rijdt.
Jos is iemand die graag snel rijdt. Op t = 0 s begint een trajectmeting. Jos haalt een andere auto in en rijdt op dat moment 140 km/h. De inhaalmanoeuvre duurt 15 s. De trajectmeting wordt gedaan over een afstand van 1,5 km.
Met welke constante snelheid mag Jos de rest van het traject rijden opdat zijn gemiddelde snelheid niet boven de 120 km/h komt?

5 Versnelling

In deze paragraaf leer je:
- wat de versnelling is en hoe je die berekent;
- hoe je de (gemiddelde) versnelling en de versnelling op een bepaald moment kunt bepalen uit een (v,t)-diagram.

Bij bewegingen waarbij de snelheid groter wordt, geeft de grootheid versnelling aan hoe snel die snelheid oploopt. Bij een grote versnelling wordt de snelheid in korte tijd flink groter.
Een beweging waarbij de snelheid toeneemt, heet een **versnelde beweging**. De snelheid kan regelmatig of onregelmatig toenemen. Als de snelheid elke seconde *evenveel* toeneemt, spreek je van een **eenparig versnelde beweging**.

De grootheid versnelling

De grootheid **versnelling *a*** geeft aan hoe snel de snelheid verandert. Het symbool a komt van het Engelse *acceleration*. De versnelling is de snelheidstoename per seconde. Je kunt de versnelling berekenen door de snelheidstoename Δv te delen door de tijdsduur Δt:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Hierin is:
- a de versnelling in meter per seconde kwadraat (m/s² = m s⁻²);
- Δv de snelheidstoename in meter per seconde (m/s = m s⁻¹);
- Δt de tijdsduur waarin deze snelheidsverandering plaatsvindt in seconde (s).

Let erop dat je in de formule van de versnelling Δv invult in m s⁻¹ en niet in km h⁻¹.

Je berekent de snelheidstoename Δv door de beginsnelheid (de snelheid vóór het versnellen) van de eindsnelheid (de snelheid ná het versnellen) af te trekken:

$$\Delta v = v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}$$

Je vindt de eenheid van versnelling met de formule voor de versnelling:

$$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{m/s}^2 = \text{m s}^{-2}$$

Voorbeeldopgave 10

De snelheid van een auto neemt in 8,0 s toe van 60 km h⁻¹ tot 100 km h⁻¹.
Bereken de versnelling.

Uitwerking
$\Delta t = 8{,}0$ s
$\Delta v = v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}} = 100 - 60 = 40$ km/h $= 11$ m s⁻¹

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{11}{8{,}0} = 1{,}4 \text{ m s}^{-2}$$

Hier is Δv uitgerekend in km h⁻¹. Deze waarde is vervolgens omgerekend naar m s⁻¹ (delen door 3,6). Je kunt ook de beginsnelheid en de eindsnelheid omrekenen naar m s⁻¹ en dan met deze waarden Δv uitrekenen.

Voorbeeldopgave 11

Een auto rijdt met 54 km h^{-1} en versnelt dan gedurende 10 s met 2,5 m s^{-2}.
Bereken de snelheid na het versnellen in km h^{-1}.

Uitwerking
a = 2,5 m s^{-2}
Δt = 10 s

Uit $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt: $\Delta v = a \cdot \Delta t = 2{,}5 \times 10 = 25$ m s^{-1}

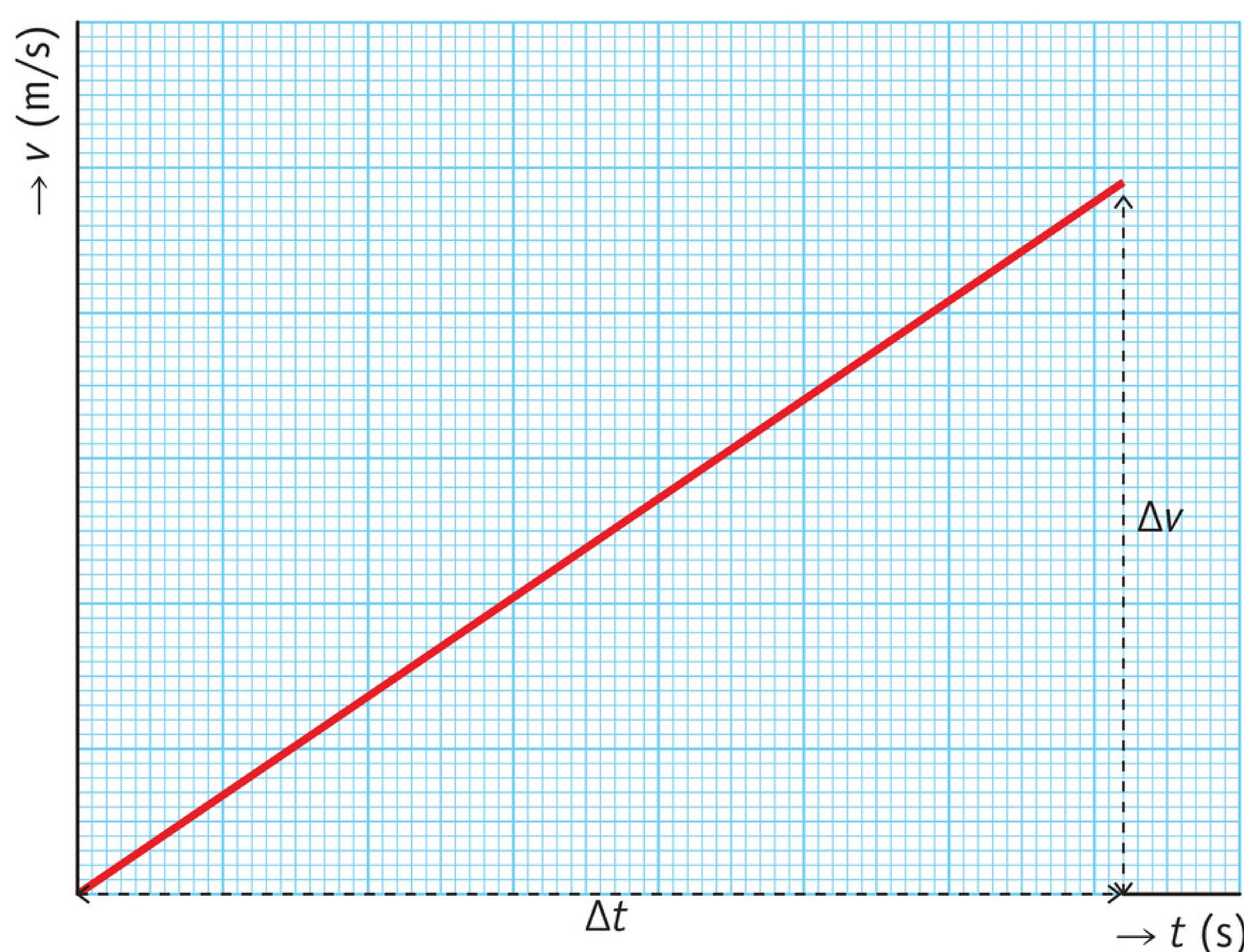
De snelheid neemt dus met 25 m s^{-1} toe.
De snelheid was 54 km h^{-1} = 15 m s^{-1}.
De snelheid na het versnellen is dus: 15 + 25 = 40 m s^{-1}.
Dit is 40 × 3,6 = 144 km h^{-1} = $1{,}4 \cdot 10^2$ km h^{-1}.

Je kunt de snelheid na het versnellen ook vinden door de formule $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$ in te vullen:
$25 = v_{eind} - 15$ waaruit volgt: $v_{eind} = 25 + 15 = 40$ m s^{-1}.
Let erop dat Δv de snelheids*toename* voorstelt en niet de eindsnelheid.

Nu je het begrip versnelling kent, kun je het begrip eenparig versnelde beweging ook op een andere manier uitleggen: een eenparig versnelde beweging is een beweging met een constante positieve versnelling.

Het (*v*,*t*)-diagram

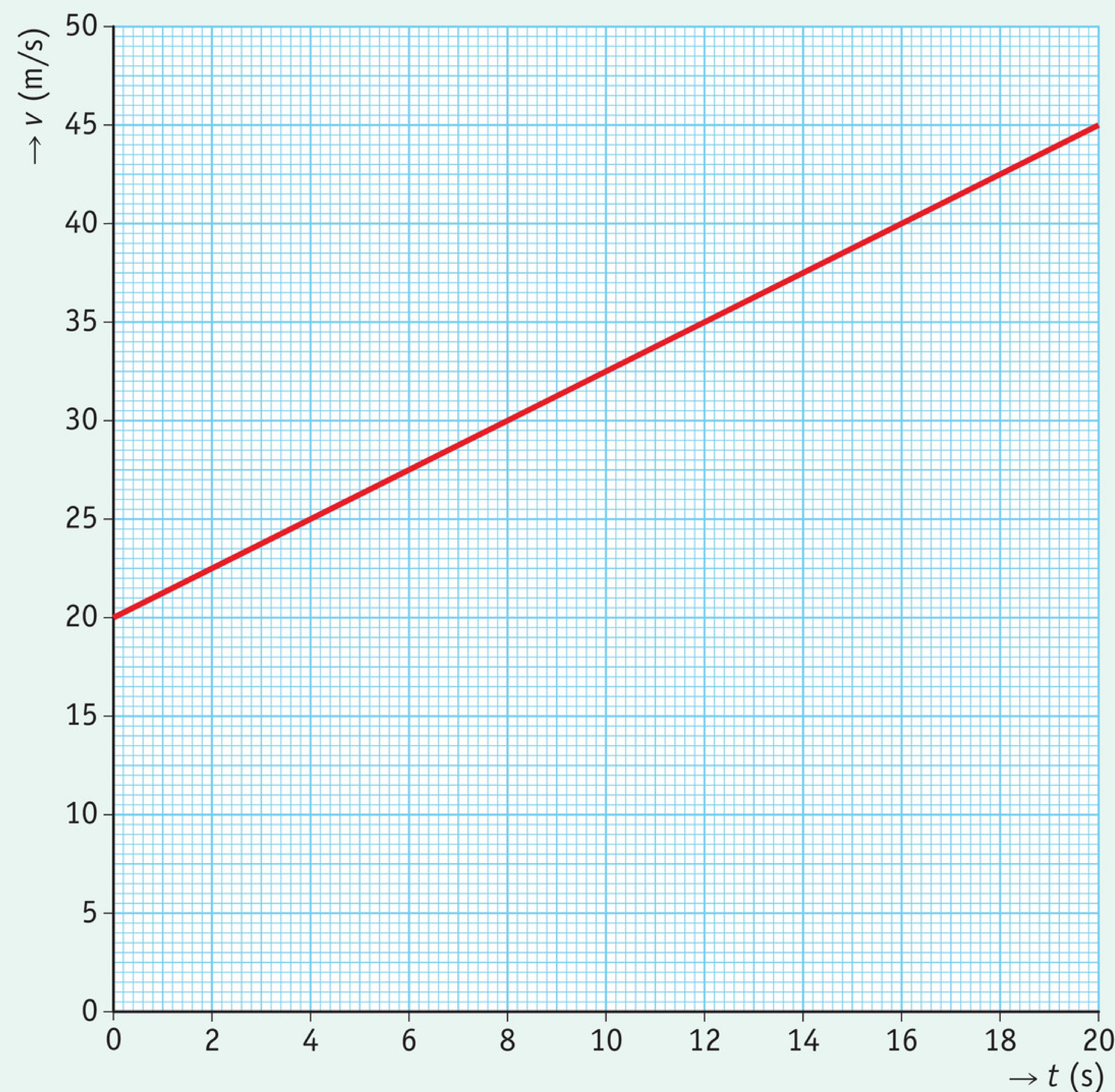
Het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging is een stijgende rechte lijn. Als deze lijn door de oorsprong gaat, is de beginsnelheid nul. Als de lijn niet door de oorsprong gaat, dan gaat het om een eenparig versnelde beweging met een beginsnelheid.
De versnelling is de steilheid van het (v,t)-diagram (figuur 16).



▲ **figuur 16** Het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid; $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ is de steilheid van het (v,t)-diagram.

Voorbeeldopgave 12

Bepaal de versnelling van het voorwerp waarvan in figuur 17 het (v,t)-diagram is getekend.



▲ **figuur 17** het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging met beginsnelheid

Uitwerking

a = steilheid (v,t)-diagram $= \dfrac{45{,}0 - 20{,}0}{20{,}0} = \dfrac{25{,}0}{20{,}0} = 1{,}25\ \text{m s}^{-2}$

Je hoeft niet gebruik te maken van het feit dat de versnelling de steilheid van het (v,t)-diagram is. Je kunt hier ook Δv en Δt uit de grafiek bepalen en de formule voor de versnelling gebruiken, omdat de grafiek een rechte lijn is.

Als het (v,t)-diagram wel stijgt maar geen rechte lijn is, dan is de beweging wel versneld maar is de versnelling niet op elk tijdstip even groot. Er is dan dus geen sprake van een eenparig versnelde beweging. Je kunt dan de gemiddelde versnelling bepalen met: $a_{gem} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

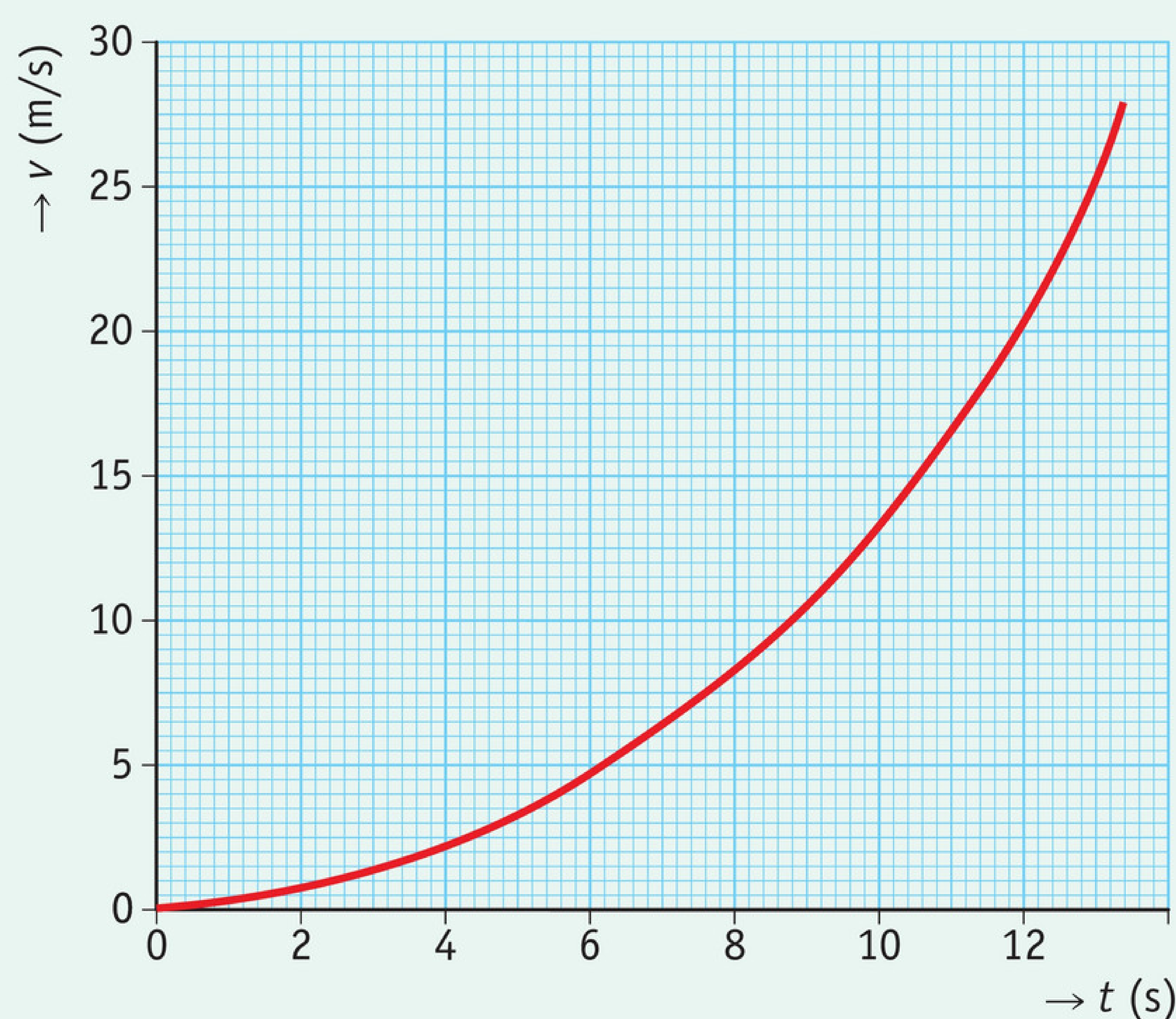
Je kunt ook de versnelling op een bepaald tijdstip bepalen door op dat tijdstip een raaklijn aan het (v,t)-diagram te tekenen en de steilheid van deze raaklijn te bepalen. Teken die raaklijn zo lang mogelijk. De versnelling op een tijdstip wordt ook wel de **momentane versnelling** genoemd. Voor deze momentane versnelling geldt:

$$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

Hierin is:
- a de momentane versnelling in meter per seconde kwadraat (m s^{-2});
- Δv de snelheidstoename horende bij de raaklijn in meter per seconde (m s^{-1});
- Δt de tijdsduur horende bij de raaklijn in seconde (s).

Voorbeeldopgave 13

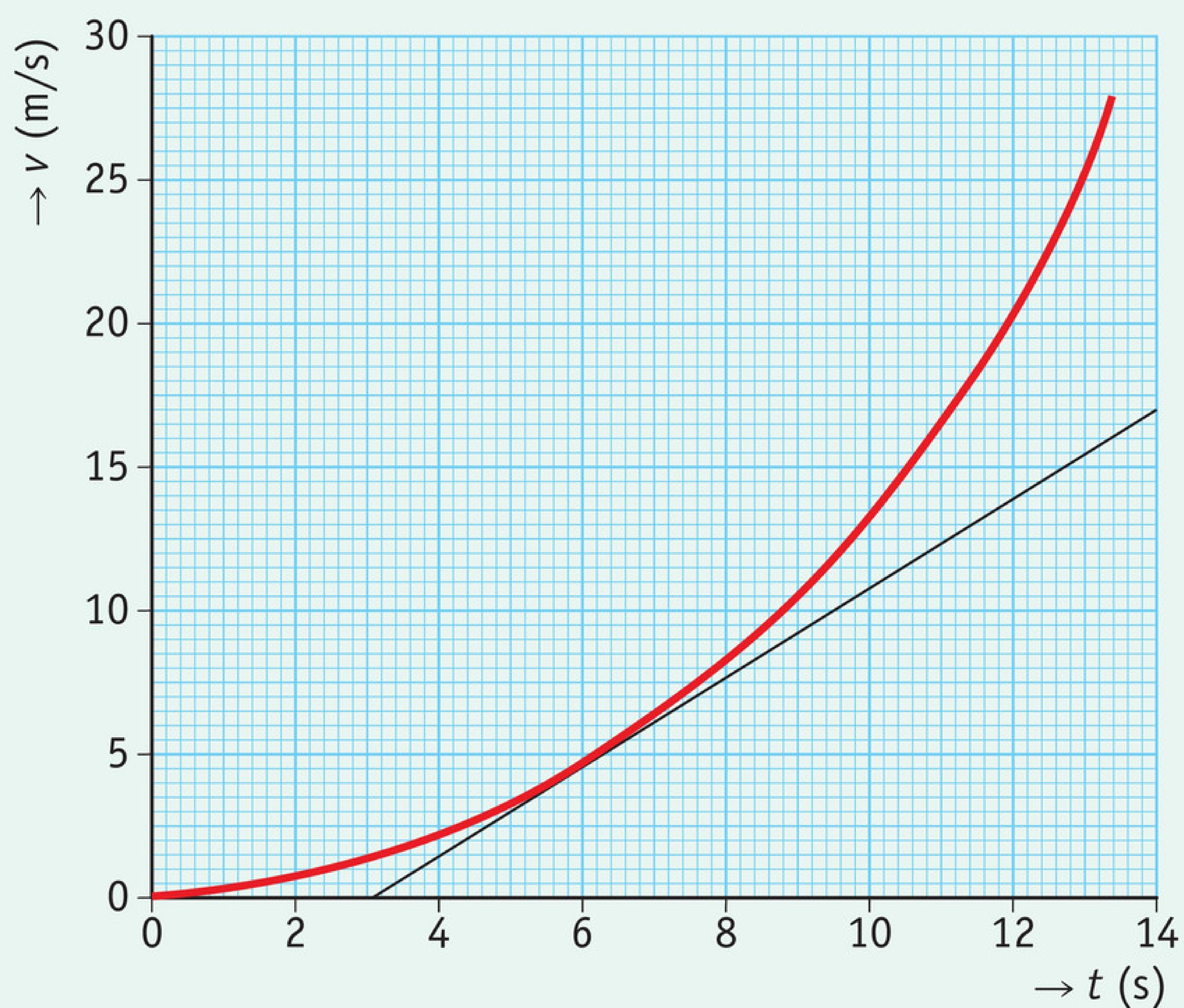
Van een bewegend voorwerp is in figuur 18 het (v,t)-diagram getekend.



▲ **figuur 18** het (v,t)-diagram van een versnelde beweging

a Bepaal de versnelling van dit voorwerp op t = 6,0 s.
b Bepaal de gemiddelde versnelling voor de hele beweging.

Uitwerking
a In figuur 19 is de raaklijn getekend aan het (v,t)-diagram op t = 6,0 s.



▲ **figuur 19** het bepalen van de versnelling op t = 6,0 s

De versnelling op dit tijdstip is de steilheid van deze raaklijn:

$$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}} = \frac{17{,}0 - 0}{14{,}0 - 3{,}0} = \frac{17{,}0}{11{,}0} = 1{,}55 \text{ m s}^{-2}$$

b Bepaal eerst Δv en Δt voor de hele grafiek.
$\Delta v = 28 - 0 = 28{,}0\ \text{m s}^{-1}$
$\Delta t = 13{,}4 - 0{,}0 = 13{,}4\ \text{s}$

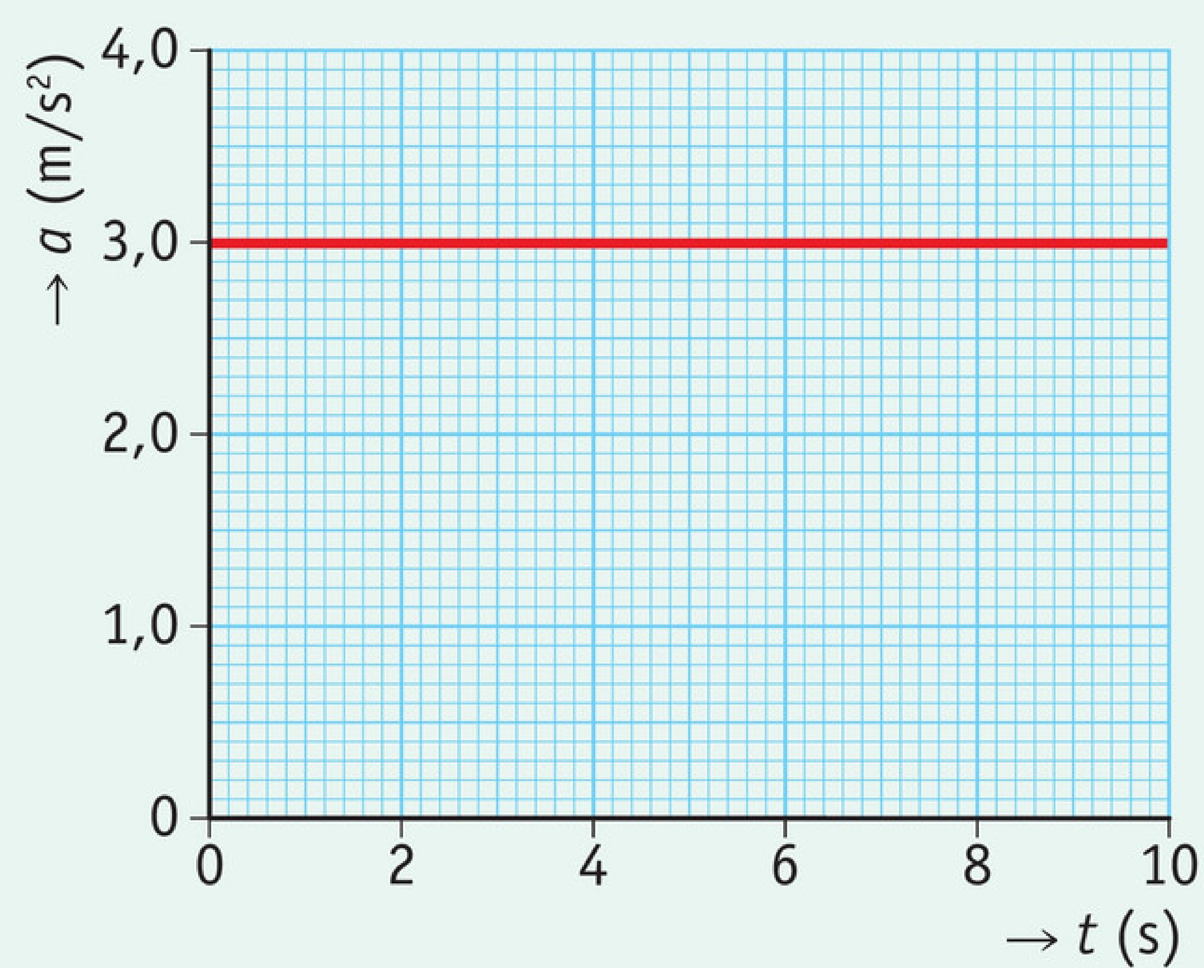
Dan geldt: $a_{gem} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{28{,}0 - 0}{13{,}4} = 2{,}09\ \text{m s}^{-2}$

Het (*a*,*t*)-diagram

Het (*a*,*t*)-diagram van een eenparig versnelde beweging is een horizontale rechte lijn. De versnelling is immers constant. Je kunt de snelheidstoename Δv uit het (*a*,*t*)-diagram halen. Deze snelheidstoename is de oppervlakte onder het (*a*,*t*)-diagram, immers $\Delta v = a \cdot \Delta t$.

Voorbeeldopgave 14

Bepaal de snelheidstoename van het voorwerp waarvan in figuur 20 het (*a*,*t*)-diagram is getekend.



▲ **figuur 20** het (*a*,*t*)-diagram van een versnelde beweging

Uitwerking
Δv = oppervlakte onder het (*a*,*t*)-diagram = $3{,}0 \times 10 = 30\ \text{m s}^{-1}$
De snelheid neemt dus met $30\ \text{m s}^{-1}$ toe.

Je hoeft niet per se gebruik te maken van het feit dat Δv de oppervlakte onder het (*a*,*t*)-diagram is. Je kunt ook *a* en Δt uit de grafiek halen en dan de formule $\Delta v = a \cdot \Delta t$ gebruiken.

Onthoud!

- De (gemiddelde) versnelling is de snelheidstoename per seconde. Deze is uit te rekenen met de formule $a_{gem} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$
- Bij een eenparig versnelde beweging is de versnelling constant en neemt de snelheid elke seconde evenveel toe. De versnelling kun je uitrekenen met de formule $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$
- De versnelling is de steilheid van het (*v*,*t*)-diagram en hieruit te bepalen met: $a = \left(\dfrac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$
- De snelheidstoename Δv is de oppervlakte onder het (*a*,*t*)-diagram.

Opdrachten

42 Versnelling

Beantwoord de volgende vragen.

a Leg in je eigen woorden uit wat je onder de grootheid versnelling verstaat.
b Met welke formule kun je de versnelling berekenen?
c In welke eenheden moet je de grootheden in deze formule uitdrukken?
d Leg in je eigen woorden uit wat een eenparig versnelde beweging is.

43 Diagrammen

Maak de volgende opdrachten.

a Beschrijf hoe het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid eruitziet.
b Beschrijf hoe het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging met beginsnelheid eruitziet.
c Leg uit hoe je uit een (v,t)-diagram de versnelling op een tijdstip kunt bepalen.
d Beschrijf hoe het (a,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging eruitziet.
e Leg uit hoe je de snelheidstoename uit een (a,t)-diagram kunt bepalen.

44 Auto en motor

Bereken de versnelling in de volgende gevallen.

a een auto die vanuit stilstand eenparig versneld optrekt en na 6,0 s een snelheid heeft van 18 m s^{-1}
b een motor die de bebouwde kom uit rijdt en daarna in 4,0 s tijd versnelt van 50 km h^{-1} tot 80 km h^{-1}
c een parachutist die uit een vliegtuig valt en na 5,0 s een snelheid heeft van 49 m s^{-1}

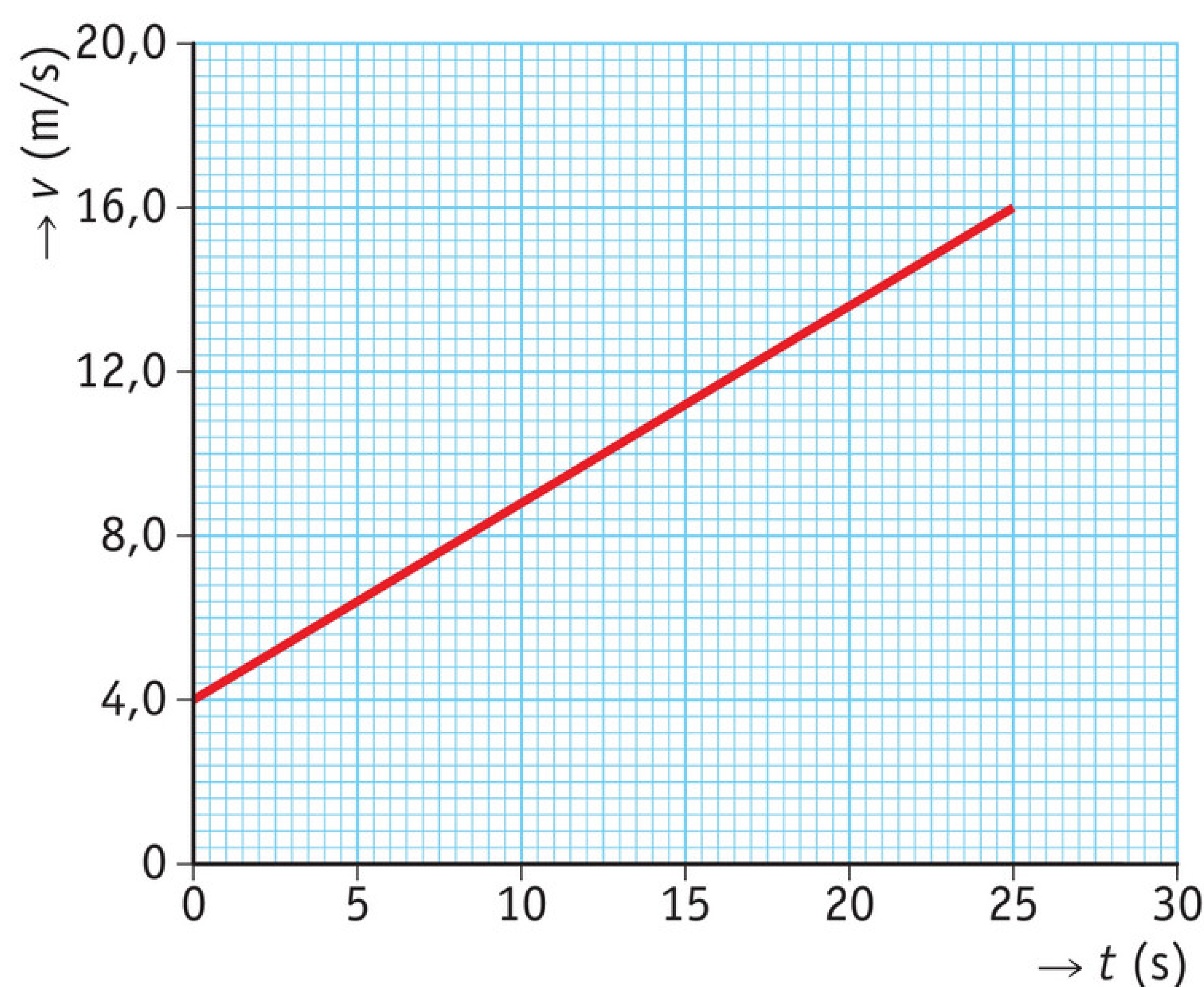
45 Optrekkende auto

Een auto trekt eenparig versneld op met een versnelling van 3,0 m s^{-2}.

a Bereken de snelheid van de auto na 5,0 s.
b Teken het (v,t)-diagram van de auto van $t = 0$ tot $t = 5{,}0$ s.

46 (v,t)-diagram

In figuur 21 is het (v,t)-diagram getekend van een bewegend voorwerp.



▲ **figuur 21** het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp

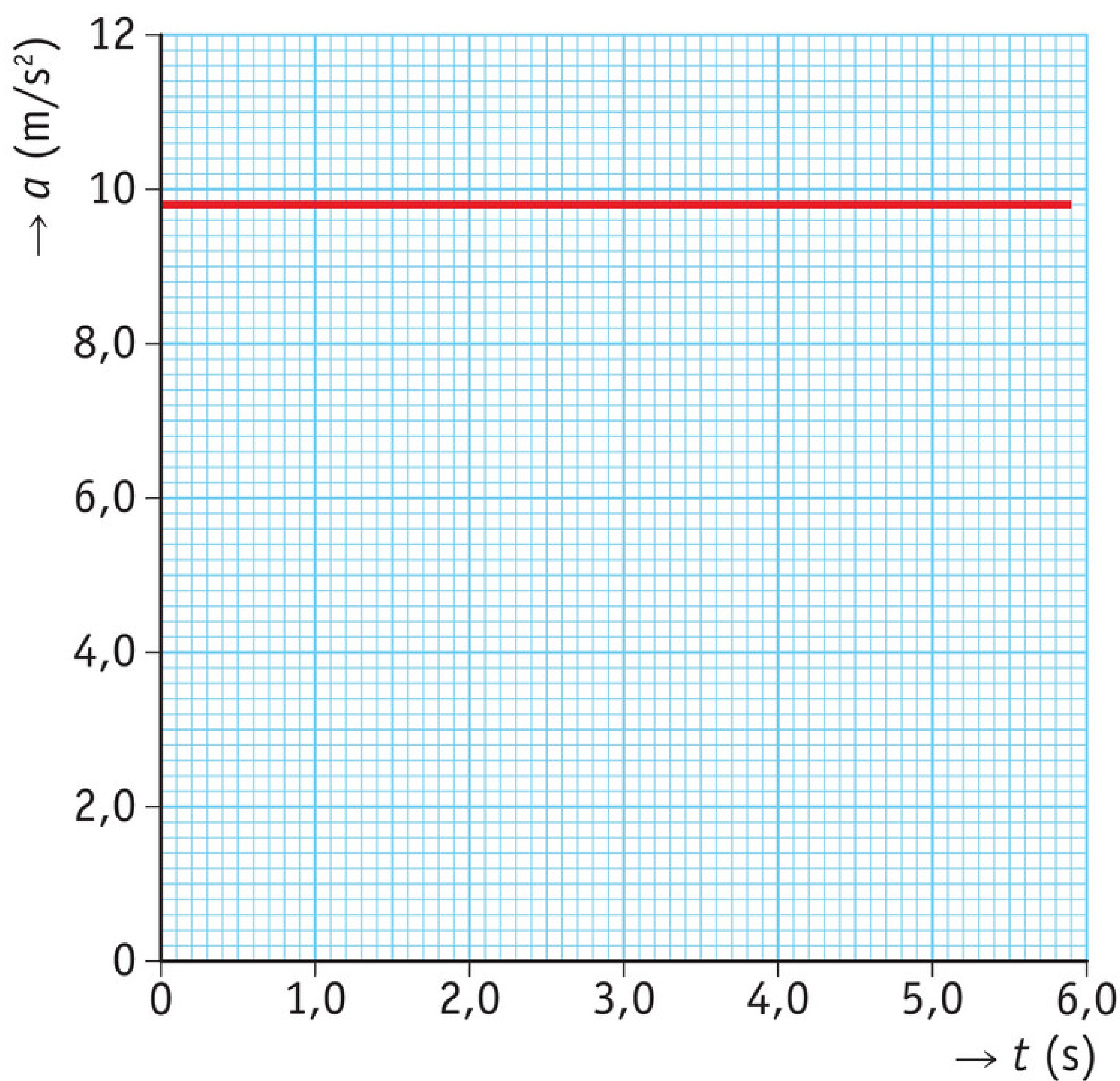
a Bepaal de versnelling van het voorwerp.
b Bepaal de snelheid van het voorwerp op $t = 0$ s en op $t = 20$ s.
c Bepaal de afstand die het voorwerp heeft afgelegd tussen $t = 0$ s en $t = 25$ s.

47 Raket
Een raket versnelt met 26 m s^{-2}.
Bereken hoelang de raket nodig heeft om vanuit stilstand een snelheid te bereiken van 6,0 km s^{-1}.

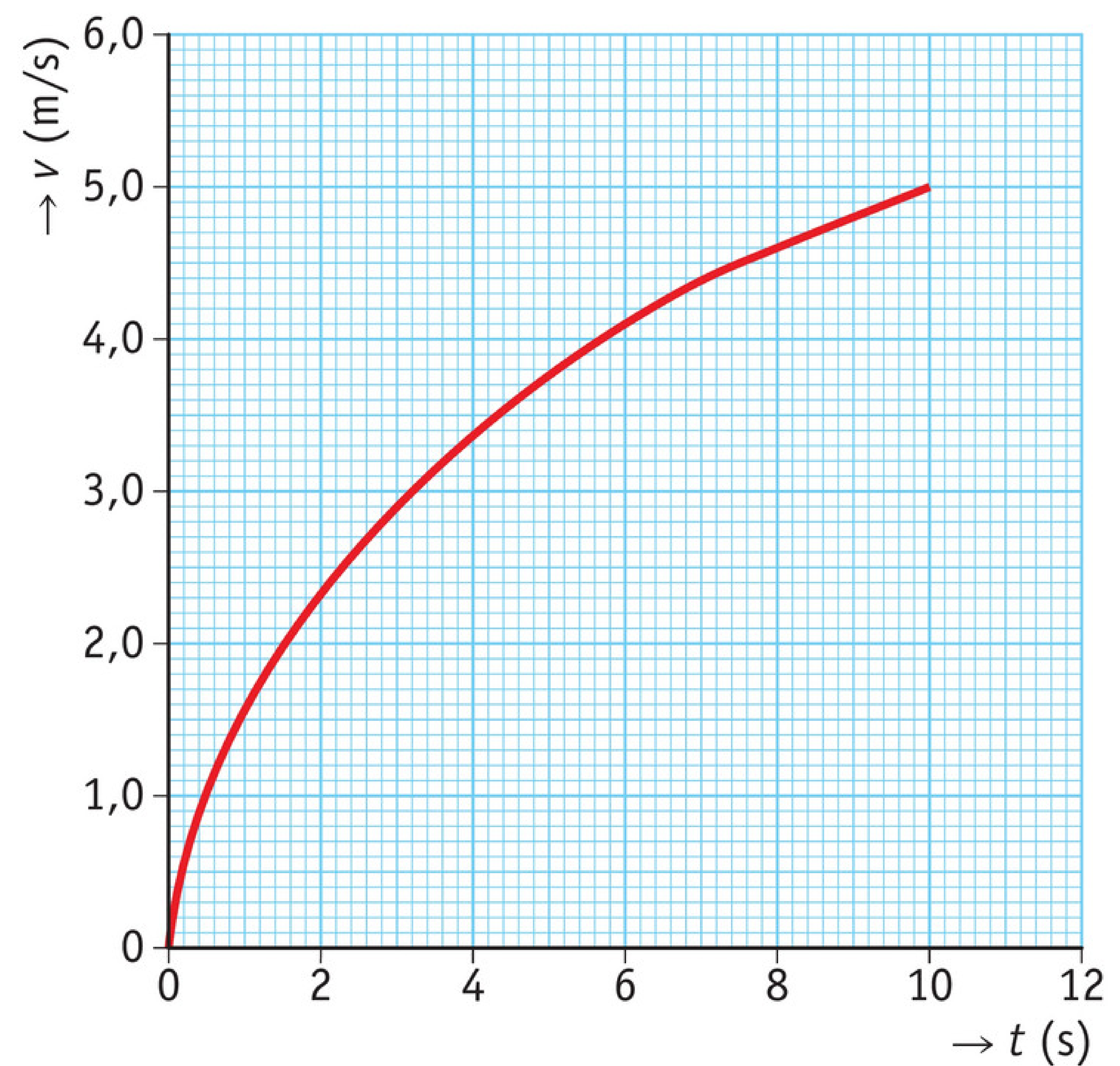
48 Vallende steen
In figuur 22 is het (a,t)-diagram van een vallende steen getekend.
- **a** Leg uit dat de beweging van de steen eenparig versneld is.
- **b** Bepaal de snelheid van de steen op t = 10 s als de steen op t = 0 s begon te vallen en dus nog geen snelheid had.
- **c** Bepaal de snelheid van de steen op t = 10 s als de steen op t = 0 s een snelheid van 5,0 m s^{-1} naar beneden had.

49 Raket
Een raket heeft geen grote versnelling tijdens het opstijgen.
Leg uit hoe men de eindsnelheid van de raket toch heel groot maakt. Doe dit aan de hand van de formule voor de versnelling.

+50 Bewegend voorwerp
In figuur 23 is het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp getekend.
- **a** Leg uit dat de beweging waarvan het (v,t)-diagram is getekend, geen eenparig versnelde beweging is.
- **b** Leg uit of de versnelling van de beweging steeds groter of steeds kleiner wordt.
- **c** Bepaal de gemiddelde versnelling.
- **d** Bepaal de versnelling op de tijdstippen t = 0,0 s, t = 4,0 s en t = 8,0 s.



▲ **figuur 22** het (a,t)-diagram van een vallende steen



▲ **figuur 23** het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp

6 Eenparig versnelde beweging

In deze paragraaf leer je:
- rekenen aan de eenparig versnelde beweging.

Een bijzondere versnelde beweging is een eenparig versnelde beweging. Bij een eenparig versnelde beweging kun je de snelheid en de afgelegde afstand na een bepaalde tijd berekenen.

Formules

Bij een eenparig versnelde beweging kun je de snelheid v_{eind} na het versnellen berekenen met de formule uit paragraaf 5: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, waarbij $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$

Je kunt de afstand s die het voorwerp heeft afgelegd bij zo'n beweging uitrekenen als je de gemiddelde snelheid v_{gem} kent. Je gebruikt daarvoor de formule $s = v_{gem} \cdot t$
De gemiddelde snelheid kun je bij een eenparig versnelde beweging berekenen met:

$$v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$$

Hierin is:
- v_{gem} de gemiddelde snelheid in meter per seconde (m s^{-1});
- v_{begin} de beginsnelheid in meter per seconde (m s^{-1});
- v_{eind} de eindsnelheid in meter per seconde (m s^{-1}).

Voorbeeldopgave 15

Een auto trekt vanuit stilstand eenparig versneld op met een versnelling van 2,2 m s^{-2}.
a Bereken de snelheid van de auto na 6,0 s.
b Bereken de afstand die de auto na 6,0 s heeft afgelegd.

Uitwerking

a Uit $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt: $\Delta v = a \cdot \Delta t$

Vul de bekende gegevens in: $\Delta v = 2{,}2 \times 6{,}0 = 13{,}2$ m s^{-1}.
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$ invullen geeft: $13{,}2 = v_{eind} - 0$, waaruit volgt: $v_{eind} = 13$ m s^{-1}

b $v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2} = \frac{0 + 13}{2} = 6{,}6$ m s^{-1}

$s = v_{gem} \cdot t = 6{,}6 \times 6{,}0 = 40$ m

Het antwoord op opgave a is 13 m s^{-1}, want het antwoord moet in twee significante cijfers worden gegeven. Bij opgave b gebruik je dit getal weer, maar dan reken je wel met de niet-afgeronde waarde verder. Dat is de reden dat uit $\frac{13}{2}$ niet 6,5 maar 6,6 als antwoord komt.

Voorbeeldopgave 16

Een vliegtuig start vanuit stilstand en heeft na 1600 m over de startbaan gereden te hebben een snelheid van 50 m s^{-1}.
Bereken de versnelling.

Uitwerking

$$v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2} = \frac{0 + 50}{2} = 25 \text{ m s}^{-1}$$

$s = v_{gem} \cdot t$ invullen geeft: $1600 = 25 \cdot t$, waaruit volgt: $t = \frac{1600}{25} = 64$ s.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{eind} - v_{begin}}{\Delta t} = \frac{50 - 0}{64} = \frac{50}{64} = 0{,}78 \text{ m s}^{-2}$$

Opmerking: pas op dat je bij de laatste stap voor Δv neemt $v_{eind} - v_{begin}$ en niet $v_{gem} - v_{begin}$.

Voorbeeldopgave 17

Een auto rijdt met 80 km h^{-1} en trekt dan gedurende 5,0 s eenparig versneld op tot 120 km h^{-1}.
Bereken de versnelling en de afstand die de auto gedurende deze 5,0 s aflegt.

Uitwerking
$\Delta v = 120 - 80 = 40 \text{ km h}^{-1} = 11{,}1 \text{ m s}^{-1}$

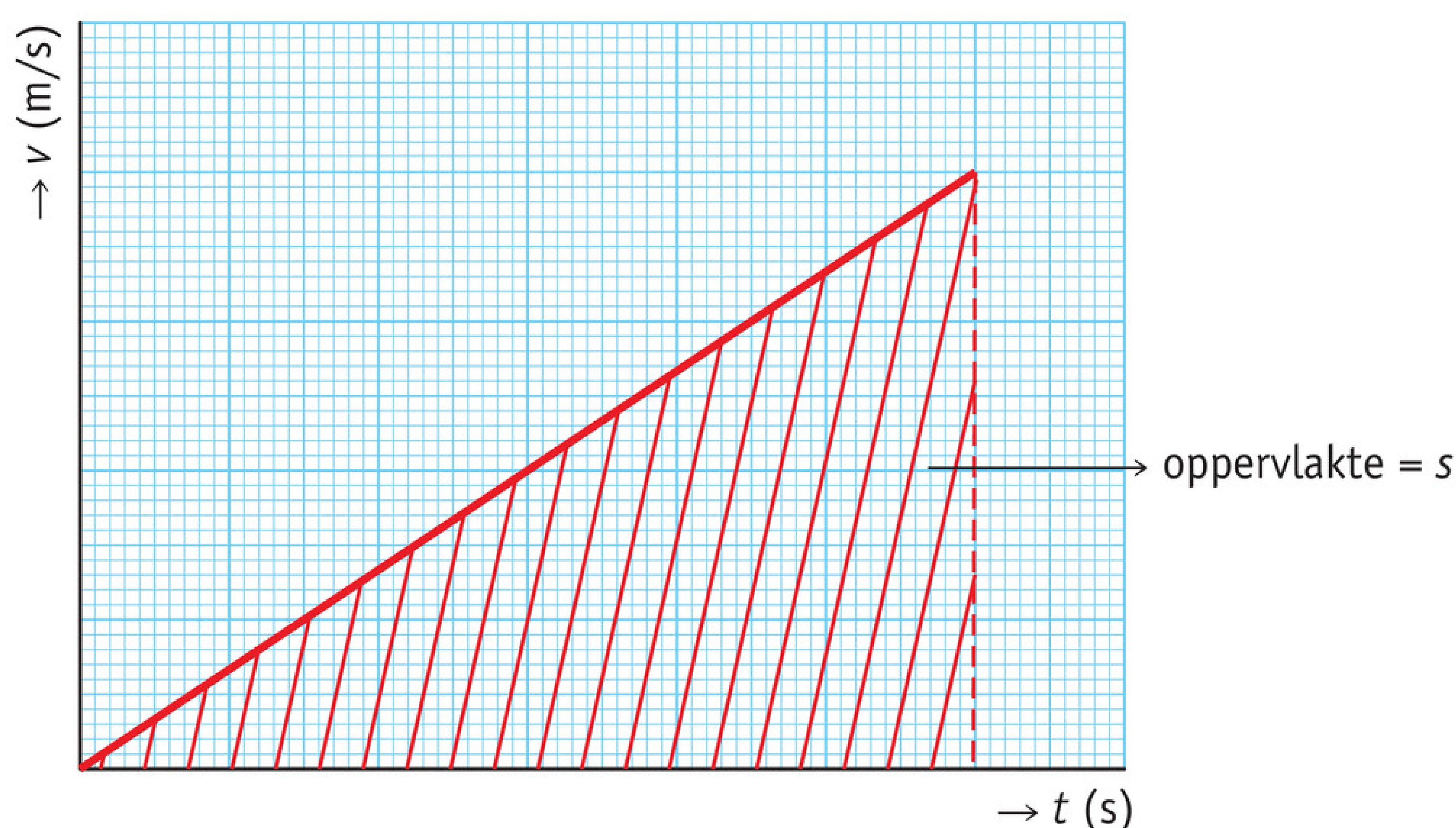
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{11{,}1}{5{,}0} = 2{,}2 \text{ m s}^{-2}$$

$$v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2} = \frac{80 + 120}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ km h}^{-1} = 27{,}8 \text{ m s}^{-1}$$

$s = v_{gem} \cdot t = 27{,}8 \times 5{,}0 = 1{,}4 \cdot 10^2$ m

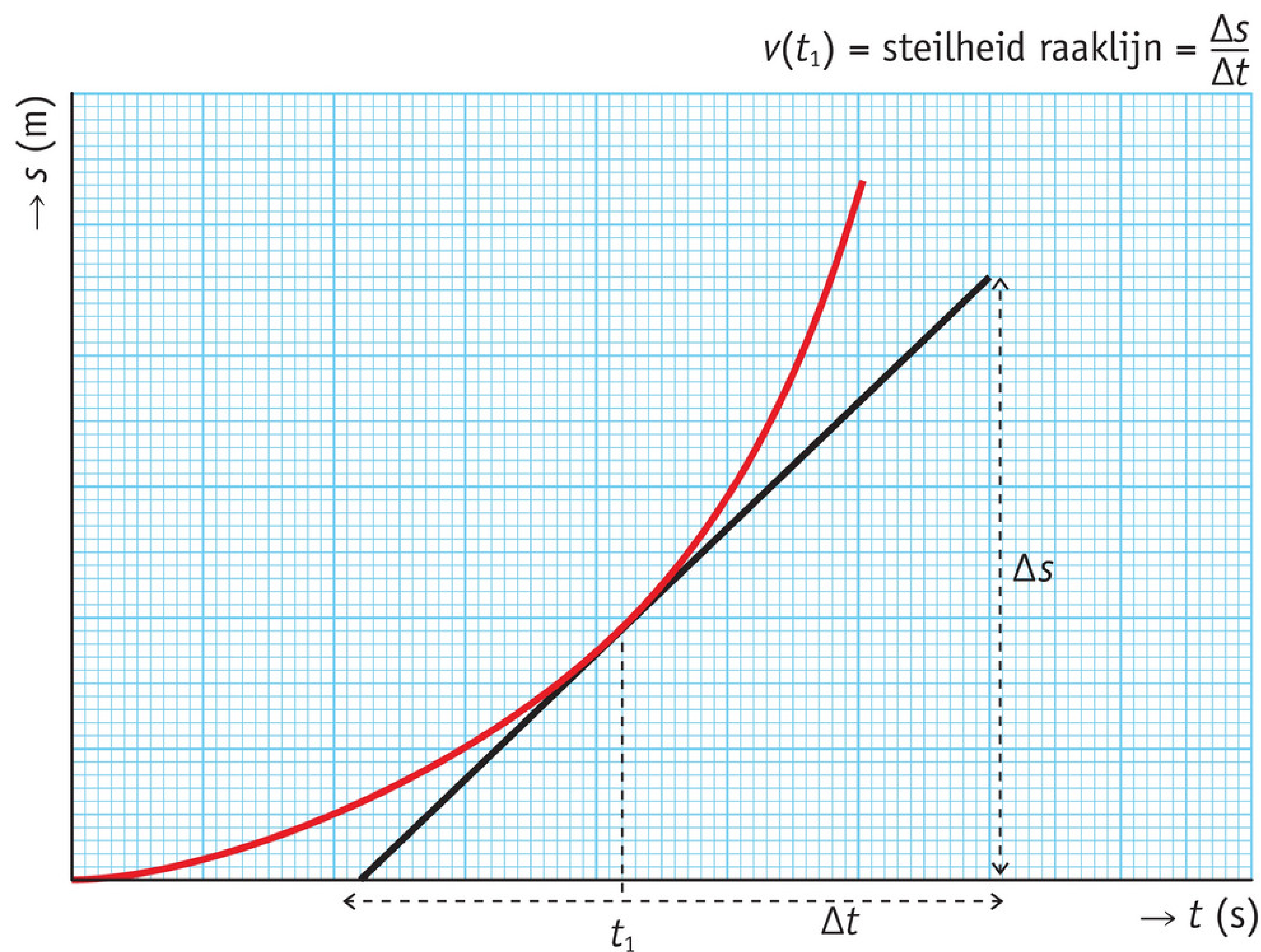
Diagrammen

De afgelegde afstand s bij een eenparig versnelde beweging kun je ook uit het (v,t)-diagram halen. Zoals in paragraaf 3 is uitgelegd, is de oppervlakte onder het (v,t)-diagram de afgelegde afstand s (figuur 24). Zoals in paragraaf 4 al is besproken, is de versnelling de steilheid van het (v,t)-diagram.



▲ **figuur 24** De oppervlakte onder het (v,t)-diagram is de afgelegde weg s.

De snelheid op elk tijdstip van de eenparig versnelde beweging kun je ook uit het (s,t)-diagram halen. Voor elk (s,t)-diagram geldt namelijk: de steilheid van de raaklijn is de snelheid op het desbetreffende tijdstip (figuur 25).

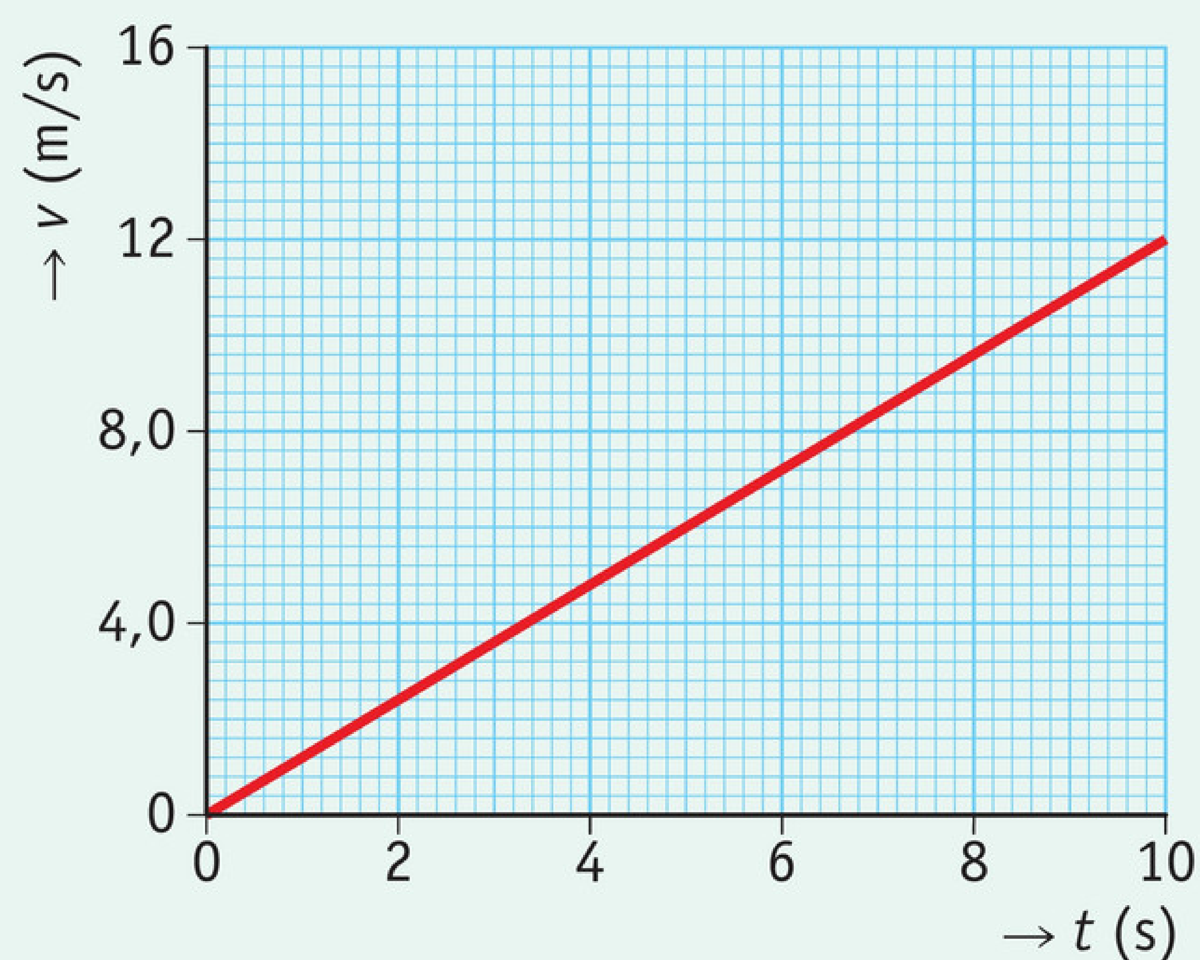


▲ **figuur 25** de bepaling van de snelheid op een tijdstip uit een (s,t)-diagram

Het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging is een stijgende rechte lijn. Het (s,t)-diagram heeft de vorm van een stuk dalparabool.

Voorbeeldopgave 18

In figuur 26 is het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp getekend.
Bepaal hieruit de afstand die wordt afgelegd van t = 0,0 s tot t = 10,0 s en de versnelling.



▲ **figuur 26** het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp

Uitwerking

s = oppervlakte onder het (v,t)-diagram = ½ × 10,0 × 12,0 = 60,0 m

$$a = \text{steilheid } (v,t)\text{-diagram} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12{,}0}{10{,}0} = 1{,}20 \text{ m s}^{-2}$$

Onthoud!

- Voor een eenparig versnelde beweging gelden de volgende formules:
  - versnelling: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
  - afstand: $s = v_{gem} \cdot t$
  - gemiddelde snelheid: $v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$

Opdrachten

51 Gemiddelde snelheid
Bij een eenparig versnelde beweging kun je de gemiddelde snelheid en de afgelegde afstand na een bepaalde tijd berekenen.
a Met welke formule kun je de gemiddelde snelheid bij een eenparig versnelde beweging berekenen?
b Met welke formule kun je met de gemiddelde snelheid de afgelegde afstand bij een eenparig versnelde beweging berekenen?

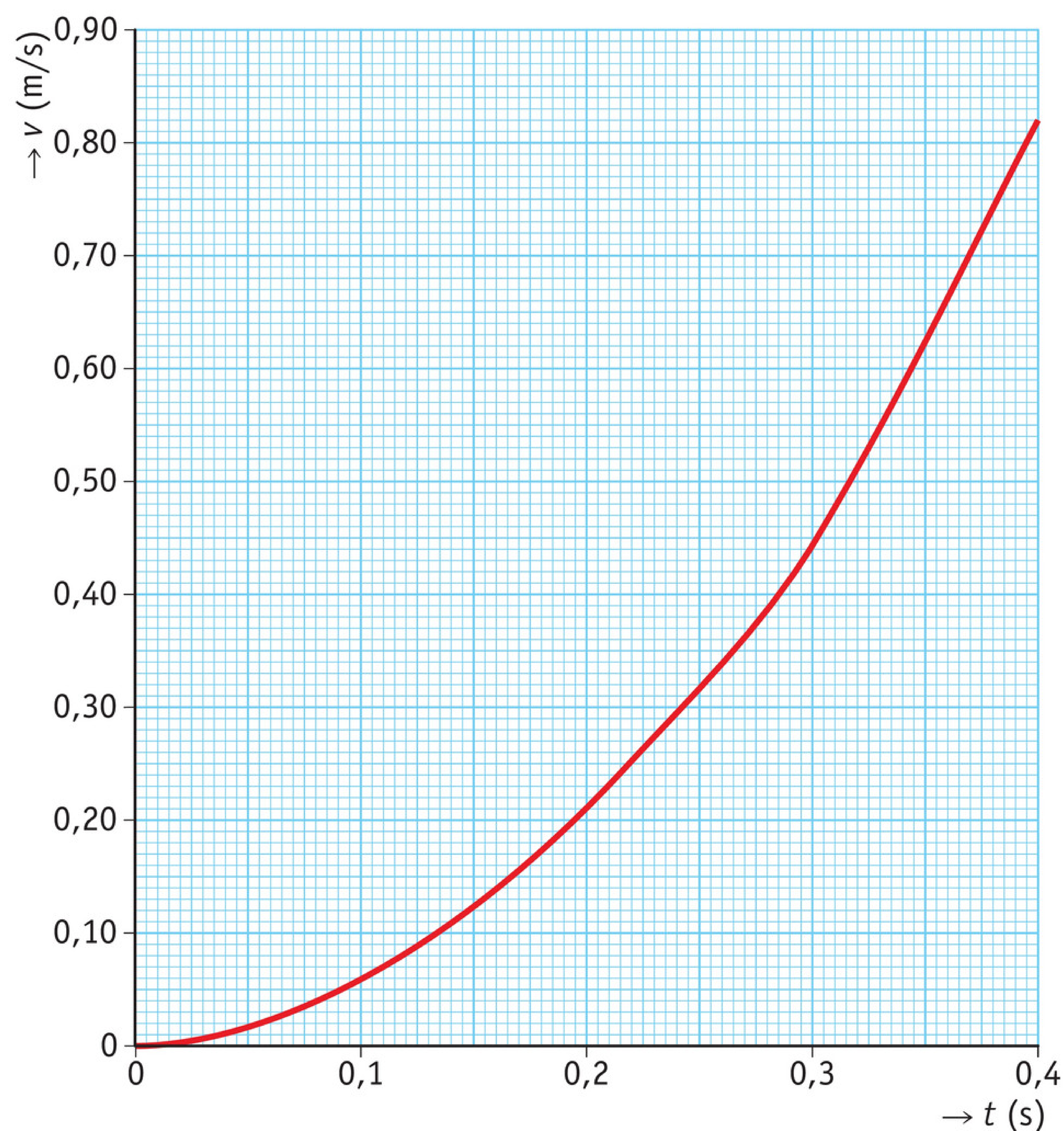
52 (v,t)-diagram [1]
Je kunt een aantal zaken opmaken uit het (v,t)-diagram.
a Leg uit hoe je uit het (v,t)-diagram de versnelling kunt bepalen.
b Leg uit hoe je uit het (v,t)-diagram de afgelegde afstand kunt bepalen.

53 Raket
Een raket heeft 3,0 min na de start een snelheid van 5,0 km s^{-1}. Ga ervan uit dat de beweging van de raket eenparig versneld is.
a Bereken de versnelling van de raket.
b Bereken welke afstand deze raket 3,0 min na de start heeft afgelegd.

54 Sprinter
Een sprinter loopt de honderd meter. Hij heeft na 6,2 s zijn topsnelheid bereikt: 10,8 m s^{-1}. De versnelling is in deze 6,2 s constant. Na het behalen van deze topsnelheid loopt de sprinter met constante snelheid naar de finish.
a Bereken de versnelling van de sprinter in die eerste 6,2 s.
b Bereken de afstand die de sprinter in die eerste 6,2 s heeft afgelegd.
c Bereken de eindtijd van de sprinter.

55 Trein
Een trein vertrekt vanaf een station eenparig versneld met een versnelling van 0,80 m s^{-2}.
a Bereken de afstand die de trein na 4,0 s heeft afgelegd.
b Bereken de afstand die de trein na 5,0 s heeft afgelegd.
c Bereken de afstand die de trein in de zesde seconde heeft afgelegd.

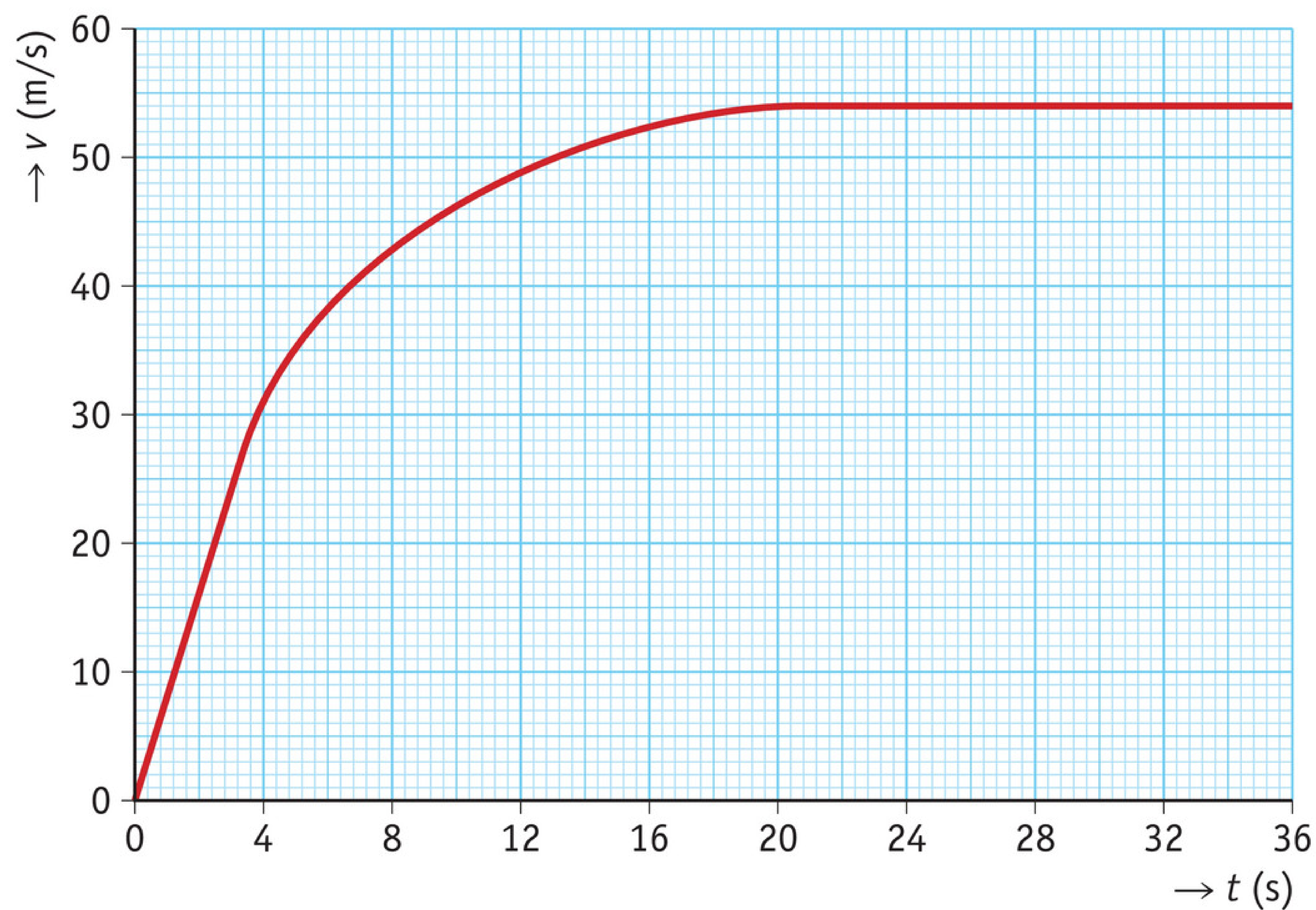
56 (v,t)-diagram [2]
De oppervlakte onder het (v,t)-diagram is de afstand die een bewegend voorwerp aflegt. Als dit (v,t)-diagram niet uit rechte lijnen bestaat, kun je de oppervlakte bepalen door ‘hokjes te tellen’. In figuur 27 is het (v,t)-diagram getekend van een bewegend voorwerp. Je gaat de verplaatsing bepalen tussen $t = 0$ s en $t = 0{,}4$ s.



▲ **figuur 27** het (*v*,*t*)-diagram van een bewegend voorwerp

a Schat het aantal grote hokjes onder de grafiek zo nauwkeurig mogelijk.
b Bepaal wat de oppervlakte van één groot hokje voorstelt.
c Bepaal de afstand die het voorwerp aflegt tussen $t = 0$ s en $t = 0{,}4$ s.
d Bepaal de gemiddelde versnelling van het voorwerp.

57 Parachutist
In figuur 28 is het (*v*,*t*)-diagram getekend van een deel van de sprong van een parachutist.



▲ **figuur 28** het (*v*,*t*)-diagram van een parachutist

a In de eerste vier seconden is de beweging vrijwel eenparig versneld.
Leg uit hoe dat uit de grafiek blijkt.

b Bepaal de versnelling in die eerste vier seconden.
c Bepaal de afstand die de parachutist in de eerste 34,0 s aflegt.
d Bereken de gemiddelde snelheid van de parachutist van 0 s tot 34 s.
e Leg uit of de parachutist na 34,0 s de grond heeft bereikt.

+58 Optrekkende auto
Een auto trekt vanuit stilstand gedurende 10 s op met een versnelling van 1,5 m s^{-2}.
Teken voor deze auto de volgende diagrammen. Schrijf ook de benodigde berekeningen op.
a het (a,t)-diagram
b het (v,t)-diagram
c het (s,t)-diagram

+59 Versnellende auto
Een auto rijdt met 10 m s^{-1}. Op t = 0 s trapt de bestuurder het gaspedaal dieper in waardoor de auto een versnelling krijgt van 1,6 m s^{-2}.
a Bereken de snelheid van de auto op t = 10 s.
b Bereken de afstand die de auto aflegt van t = 0 s tot t = 10 s.

60 Modelleren
Het model dat de afgelegde afstand berekent van een eenparig versnelde beweging vanuit stilstand, ziet er als volgt uit:

modelregels	startwaarden en constanten
t = t + dt dv = a*dt v = v + dv ds = v*dt s = s + ds	t = 0 dt = 1,0 a = 0,2 v = 0 s = 0

a Leg uit wat de computer bij deze vijf modelregels uitrekent.
b Reken de eerste drie rekenslagen van het model handmatig door.
c Schets het (s,t)-diagram dat de computer tekent van dit model.
d Verander het model zodanig dat het bewegende voorwerp niet vanuit stilstand begint, maar met een snelheid van 5,0 m s^{-1}.

7 Eenparig vertraagde beweging

In deze paragraaf leer je:
- rekenen aan de eenparige vertraagde beweging.

In de vorige twee paragrafen heb je gelezen over versnelling. In deze paragraaf komt de negatieve versnelling aan bod.

Rekenen aan eenparig vertraagde bewegingen

Een eenparig vertraagde beweging is een beweging waarbij de snelheid elke seconde evenveel afneemt. Ook bij een eenparig vertraagde beweging is er sprake van een versnelling. Deze versnelling is echter negatief.
De versnelling bereken je, net als bij de eenparig versnelde beweging, met de formule $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.
Ook in deze formule geldt: $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$, maar omdat de eindsnelheid kleiner is dan de beginsnelheid, is Δv negatief, waardoor ook a negatief is.

Als een bewegend voorwerp een versnelling van –2,0 m s^{-2} heeft, dan voert dit voorwerp een eenparig vertraagde beweging uit en wordt de snelheid elke seconde 2,0 m s^{-1} kleiner. Je spreekt soms ook van een vertraging van 2,0 m s^{-2} in plaats van over een versnelling van –2,0 m s^{-2}.
Zodra het woord **vertraging** wordt gebruikt, wordt het minteken dus weggelaten. Als je gaat rekenen, moet je bij een vertraagde beweging altijd de negatieve waarde van a gebruiken.

Voorbeeldopgave 19

Een auto remt in 5,0 s af van 72 km h^{-1} tot 18 km h^{-1}.
Bereken de vertraging.

Uitwerking
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 18 - 72 = -54$ km h^{-1} = –15 m s^{-1}

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-15}{5{,}0} = -3{,}0 \text{ m s}^{-2}$$

De versnelling bedraagt –3,0 m s^{-2} en dus is de vertraging van de auto 3,0 m s^{-2}.

Voorbeeldopgave 20

Een vliegtuig landt met 70 m s^{-1} op de landingsbaan en remt daarna af met een vertraging van 5,0 m s^{-2}.
Bereken de snelheid van het vliegtuig na 8,0 s remmen.

Uitwerking
De vertraging is 5,0 m s^{-2}. De versnelling waarmee moet worden gerekend, is dus –5,0 m s^{-2}.

Uit $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt: $\Delta v = a \cdot \Delta t$

Invullen geeft: $\Delta v = -5{,}0 \times 8{,}0 = -40$ m s^{-1}
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$
Invullen geeft: $-40 = v_{eind} - 70$, waaruit volgt: $v_{eind} = -40 + 70 = 30$ m s^{-1}

Ook bij een eenparig vertraagde beweging kun je de snelheid berekenen met de formules $\Delta v = a \cdot \Delta t$ en $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$. De verplaatsing kun je berekenen met $s = v_{gem} \cdot t$. Hierbij is de gemiddelde snelheid v_{gem} het gemiddelde van de begin- en eindsnelheid.

Ook bij een eenparig vertraagde beweging is de oppervlakte onder het (v,t)-diagram de afgelegde afstand s en de steilheid van het (v,t)-diagram de versnelling. De snelheid op een tijdstip is bij een eenparig vertraagde beweging weer te vinden als de steilheid van de raaklijn aan het (s,t)-of (x,t)-diagram: $v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$ of $v = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$

Voorbeeldopgave 21

Een kogel raakt met 200 m s^{-1} een houten balk en dringt hier een stuk in door. Het hout remt de kogel af, waardoor deze een vertraging krijgt van $2{,}9 \cdot 10^5$ m s^{-2}.
Bereken hoeveel centimeter de kogel in het hout doordringt.

Uitwerking
$a = -2{,}9 \cdot 10^5$ m s^{-2}
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 0 - 200 = -200$ m s^{-1}

Uit $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt: $\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{-200}{-2{,}9 \cdot 10^5} = 6{,}9 \cdot 10^{-4}$ s

$v_{gem} = \frac{200 + 0}{2} = 100$ m s^{-1}

$s = v_{gem} \cdot t = 100 \times 6{,}9 \cdot 10^{-4} = 0{,}069$ m $= 6{,}9 \cdot 10^{-2}$ m
De kogel dringt dus 0,069 m = 6,9 cm in de houten balk door.

Onthoud!

- Een eenparig vertraagde beweging is een beweging waarbij de snelheid elke seconde evenveel afneemt. Hierbij gelden de formules $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ en $s = v_{gem} \cdot t$

Opdrachten

61 Eenparig vertraagde beweging
Beantwoord de volgende vragen.
a Wat is een eenparig vertraagde beweging?
b Geef aan hoe je de versnelling bij een eenparig vertraagde beweging berekent.
c Leg het verschil uit tussen de versnelling en de vertraging bij een eenparig vertraagde beweging.
d Hoe bereken je de afgelegde afstand bij een eenparig vertraagde beweging?

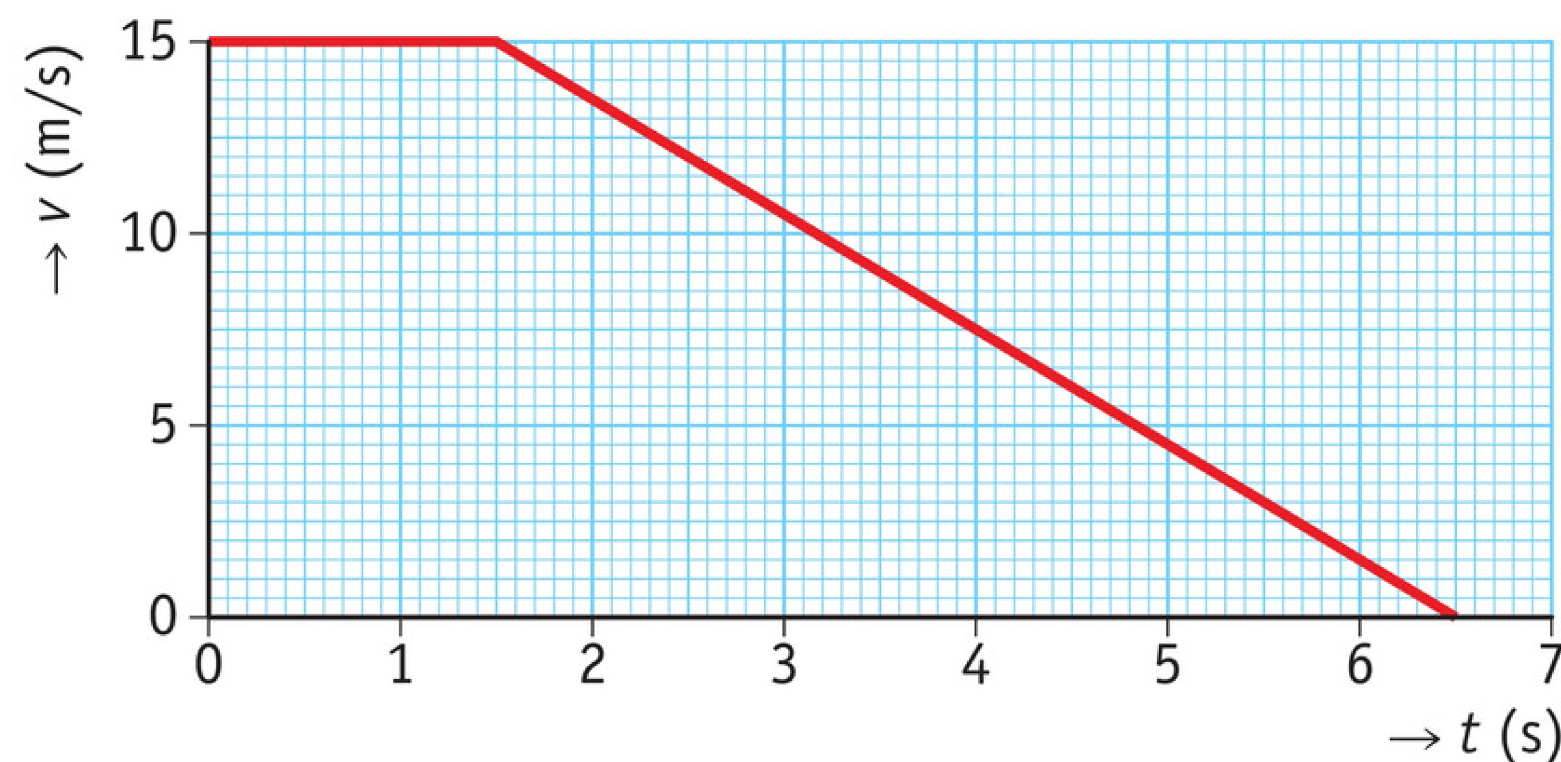
62 Remmende auto
Een auto rijdt 100 km h^{-1}. Als de chauffeur zijn rem intrapt, heeft de auto een vertraging van 7,2 m s^{-2}.
Bereken de remweg.

63 Remweg

Geef drie factoren waarvan de remweg van een auto afhankelijk is.

64 De rit van Michelle

Michelle rijdt met een snelheid van 15 m s^{-1} naar haar werk. Ze merkt dat ze haar rijbewijs is vergeten en dus remt ze. Haar reactietijd is 1,5 s. Het remmen duurt 5,0 s, waarna ze stilstaat. In figuur 29 is het (v,t)-diagram van de beweging van Michelle getekend.

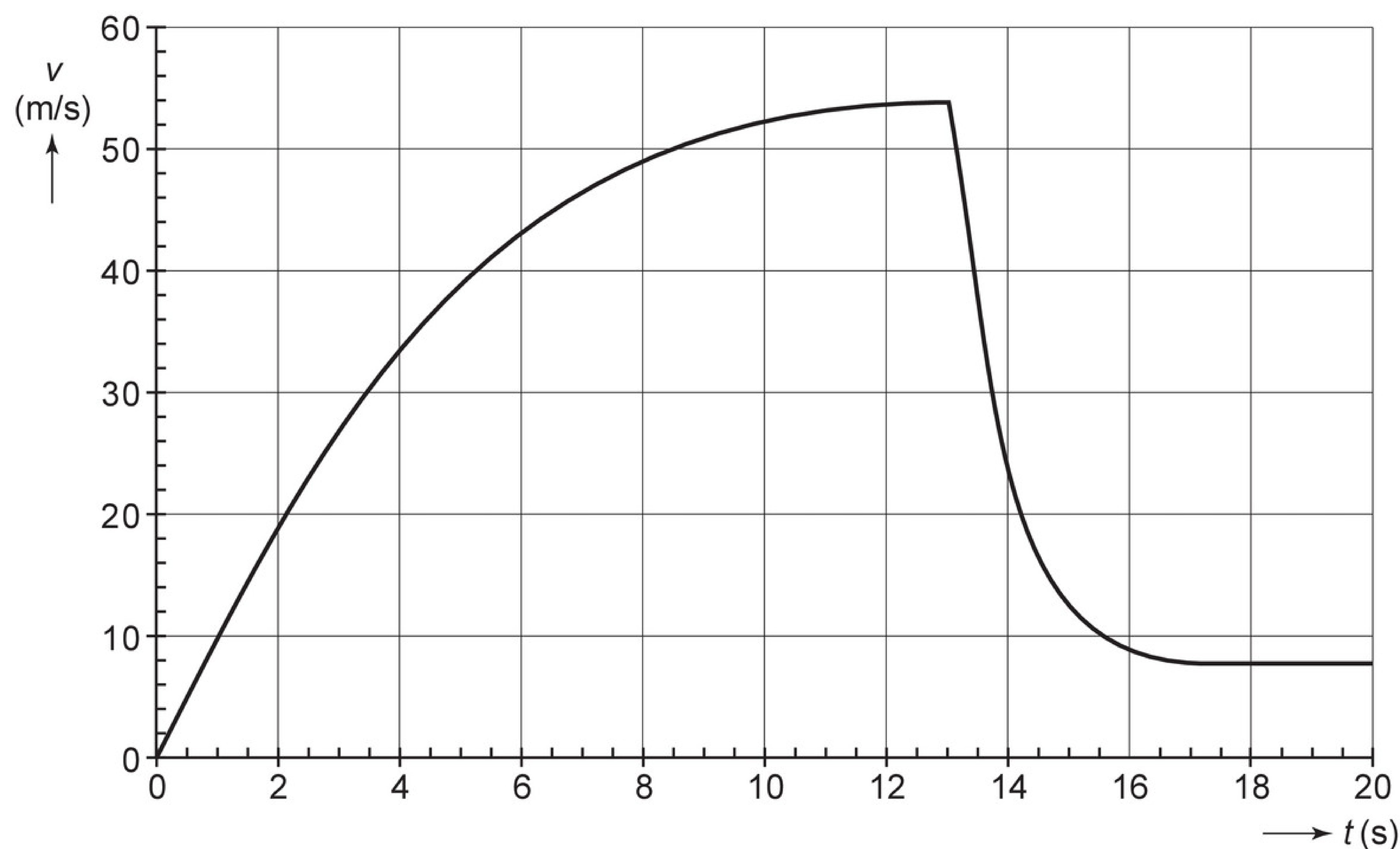


▲ **figuur 29** het (v,t)-diagram van de beweging van Michelle

a Leg uit of de grafiek klopt met de gegevens uit de tekst.
b Bepaal met behulp van de figuur hoe ver Michelle nog rijdt vanaf het moment dat ze merkt dat ze haar rijbewijs is vergeten, tot het moment waarop ze stilstaat.
c Bepaal de vertraging tijdens het remmen.

65 Parachutesprong van een rots

In figuur 30 is de snelheid als functie van de tijd weergegeven voor een parachutist die van een hoge rots afspringt.



▲ **figuur 30** het (v,t)-diagram van een parachutist die van een rots afspringt

a Op welk tijdstip trekt de parachutist zijn parachute open?
b In welke periode is de beweging van de parachutist eenparig vertraagd?
c Bepaal de vertraging in deze periode.
d Bepaal de versnelling op $t = 0,0$ s.
e Bepaal de afstand waarover de parachutist naar beneden gevallen is tot het moment dat hij zijn parachute opentrekt.

bron: examen natuurkunde 1,2 vwo 2005-I

8 Vrije val

In deze paragraaf leer je:
- wat een vrije val is;
- rekenen aan een vrije val.

Een vrije val is een eenparig versnelde beweging, waarbij de zwaartekracht de versnelling veroorzaakt.

▶ **EXPERIMENT 3** Vrije val

Wet van de vallende lichamen

De meeste mensen ervaren dat zware voorwerpen sneller vallen dan lichte voorwerpen. Een blad van een boom valt lang niet zo snel naar beneden als een (zwaardere) tak. Voorwerpen vallen naar beneden door de aantrekkingskracht van de aarde: de zwaartekracht. Tijdens de val van voorwerpen heeft ook de luchtwrijving invloed op de val. Deze luchtwrijvingskracht heeft weinig invloed op zware voorwerpen, maar een grote invloed op de val van lichte voorwerpen.
Als de luchtwrijving wordt uitgeschakeld, vallen alle voorwerpen even snel, onafhankelijk van hun massa. Dit ontdekte Galileo Galilei in 1638. Hij noemde dit de **wet van de vallende lichamen**.

In 1971 liet David Scott, een astronaut die met Apollo 15 naar de maan vloog, deze wet duidelijk zien. Hij liet tegelijkertijd van dezelfde hoogte een hamer en een veertje vallen. Ze raakten gelijktijdig de maanbodem en waren dus even snel naar beneden gevallen.
Op aarde kun je de luchtwrijving uitschakelen door een valbuis te nemen en deze met een vacuümpomp vacuüm te zuigen. Meestal worden in zo'n buis experimenten gedaan met een veertje en een kogeltje. Als de buis vacuüm is, vallen ze allebei even snel. Als er wel lucht in de buis zit, valt het kogeltje in een rechte lijn omlaag, terwijl het veertje langzaam omlaag dwarrelt (figuur 31).

De valbeweging van een voorwerp als gevolg van de zwaartekracht zonder luchtwrijving, wordt een **vrije val** genoemd. Als je een voorwerp uit je handen laat vallen, is dat dus eigenlijk geen vrije val. Doordat de invloed van de luchtwrijving op zwaardere voorwerpen klein is, wordt de val van voorwerpen vaak toch als vrije val beschouwd. Alleen als het voorwerp minder zwaar is, bijvoorbeeld een veertje of een stukje papier, is dat niet toegestaan.

Valversnelling

De vrije val is een eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid, waarbij de versnelling steeds 9,81 m s^{-2} is. Deze versnelling geef je niet aan met het symbool a, maar met het symbool g. Dus: g = 9,81 m s^{-2}. g wordt de **valversnelling** genoemd. De letter g komt van het woord **gravitatieversnelling**. Het getal 9,81 is met behulp van experimenten vastgesteld.



▲ **figuur 31** een veertje en een kogeltje in een valbuis

Eigenlijk is g niet overal op aarde even groot. Door de afplatting van de aarde is de zwaartekracht aan de polen iets groter dan die aan de evenaar. Daarom geldt aan de polen $g = 9{,}83\ \mathrm{m\ s^{-2}}$; aan de evenaar geldt $g = 9{,}78\ \mathrm{m\ s^{-2}}$. In Nederland heeft g de waarde $9{,}81\ \mathrm{m\ s^{-2}}$. Ook op andere planeten kunnen voorwerpen een vrije val maken, maar daar is de valversnelling niet $9{,}81\ \mathrm{m\ s^{-2}}$. De waarde van g op andere planeten is vermeld in Binas tabel 31. g wordt in Binas niet 'valversnelling' maar 'gravitatieversnelling aan het oppervlak' genoemd.

Voor de vrije val gelden dezelfde formules als voor een eenparig versnelde beweging. Alleen gebruik je in plaats van het symbool a het symbool g.
Voor een vrije val gelden daarom twee formules:

$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Hierin is:
- g de valversnelling in meter per seconde kwadraat ($\mathrm{m\ s^{-2}}$);
- Δv de snelheidsverandering in meter per seconde ($\mathrm{m\ s^{-1}}$);
- Δt de tijdsduur waarin de snelheidsverandering plaatsvindt in seconde (s).

$$s = v_{gem} \cdot t$$

Hierin is:
- s de afstand in meter (m);
- v_{gem} de gemiddelde snelheid in meter per seconde ($\mathrm{m\ s^{-1}}$);
- t de tijdsduur in seconde (s).

Ook hier is v_{gem} weer te berekenen met $v_{gem} = \dfrac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$

Bij een vrije val is v_{begin} altijd gelijk aan $0\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

Voorbeeldopgave 22

De eerste 10,0 s van een parachutesprong mogen als vrije val worden beschouwd.
a Bereken de snelheid van de parachutist na 10,0 s.
b Bereken hoeveel meter de parachutist in deze 10,0 s is gevallen.

Uitwerking
a Uit $g = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt: $\Delta v = g \cdot \Delta t = 9{,}81 \times 10{,}0 = 98{,}1\ \mathrm{m\ s^{-1}}$.

$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$
Invullen geeft: $98{,}1 = v_{eind} - 0$, waaruit volgt: $v_{eind} = 98{,}1\ \mathrm{m\ s^{-1}}$
Dit is de snelheid van de parachutist na 10,0 s.

b $v_{gem} = \dfrac{v_{begin} + v_{eind}}{2} = \dfrac{0 + 98{,}1}{2} = 49{,}05\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

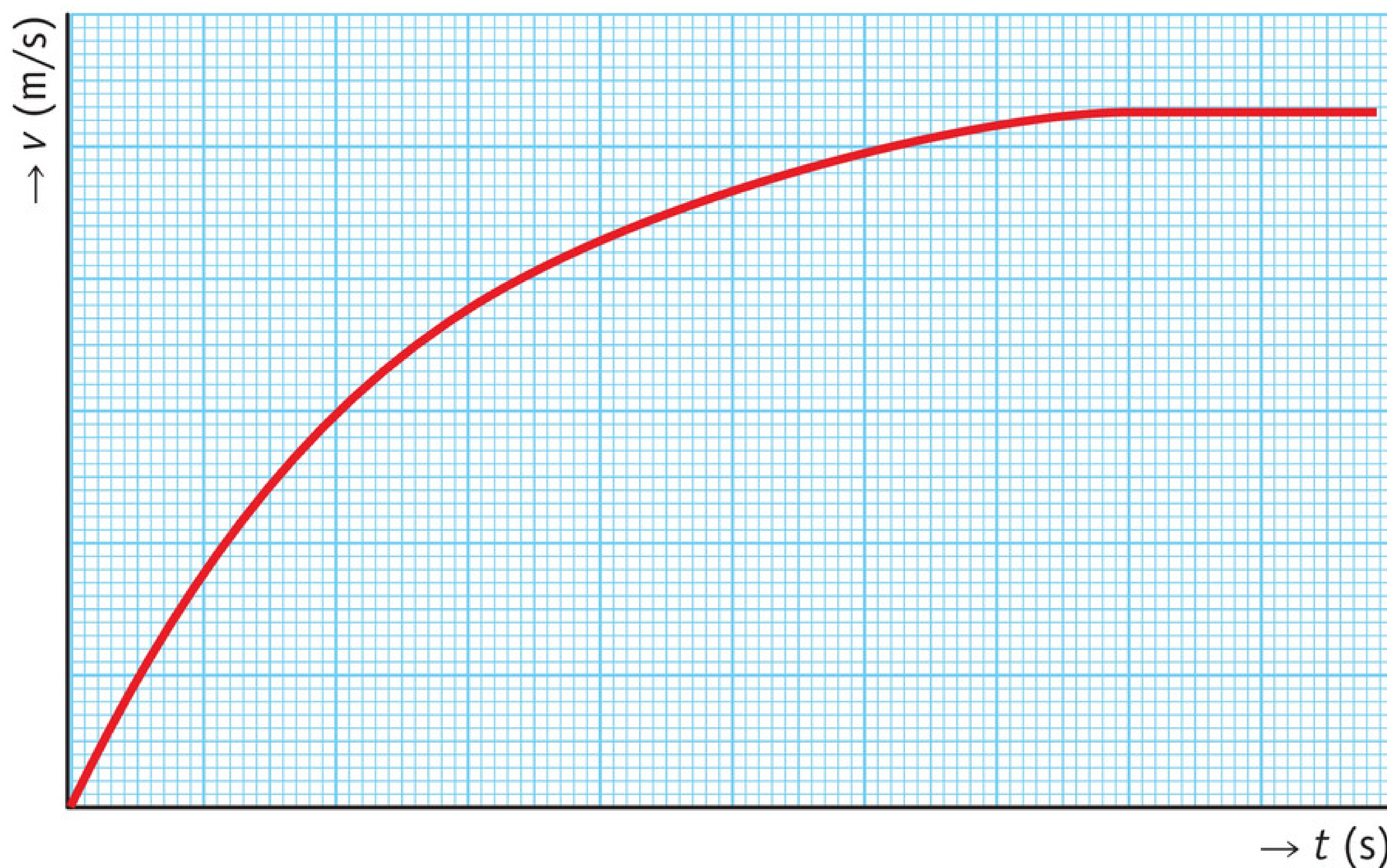
$s = v_{gem} \cdot t = 49{,}05 \times 10{,}0 = 491\ \mathrm{m}$
De parachutist is dus 491 m gevallen.

Ook bij een vrije val zijn versnelling en afstand weer te bepalen uit het (v,t)-diagram. De versnelling is de steilheid van het (v,t)-diagram: $a = \left(\dfrac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$. De afstand is de oppervlakte onder dit (v,t)-diagram. De snelheid op een tijdstip is weer te vinden als de steilheid van de raaklijn aan het (s,t)- of (x,t)-diagram: $v = \left(\dfrac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$ of $v = \left(\dfrac{\Delta s}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$

Valbeweging met wrijving

Als voorwerpen tijdens een val een luchtwrijvingskracht ondervinden, wordt deze kracht groter naarmate de snelheid van het voorwerp toeneemt. De luchtwrijvingskracht wordt veroorzaakt doordat luchtmoleculen tegen het vallende voorwerp botsen en de beweging daardoor tegenwerken. Hoe groter de snelheid, hoe meer luchtmoleculen er elke seconde tegen het voorwerp botsen, dus des te groter is de luchtwrijvingskracht.

Doordat de snelheid van een vallend voorwerp toeneemt, neemt de luchtwrijvingskracht tijdens de val ook toe. Daardoor wordt de versnelling steeds kleiner. Dat betekent dat de snelheid wel blijft toenemen, maar steeds langzamer toeneemt. Op het moment dat de luchtwrijvingskracht even groot wordt als de zwaartekracht, verandert de snelheid niet meer en is de versnelling dus nul geworden (figuur 32).



◀ **figuur 32** het (v,t)-diagram van een val met luchtwrijving

Een valbeweging met wrijving is geen vrije val. Hiervoor gelden de formules voor de vrije val dus niet. Luchtwrijving wordt ook wel luchtweerstand genoemd.

Onthoud!

- Een vrije val is een valbeweging als gevolg van de zwaartekracht zonder dat daarbij luchtwrijving optreedt.
- Bij een vrije val gelden de formules $g = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ en $s = v_{gem} \cdot t$
- Bij een valbeweging met luchtwrijving wordt de versnelling steeds kleiner en neemt de snelheid steeds langzamer toe. De snelheid wordt constant als de wrijvingskracht even groot is geworden als de zwaartekracht.

Opdrachten

66 Vrije val
Maak de volgende opdrachten.
a Leg uit wat een vrije val is.
b Welke twee formules kun je toepassen bij een vrije val?
c Wat gebeurt er met de snelheid van een vallend voorwerp als er luchtwrijving optreedt?

67 Rolina's parachutesprong
Een parachutist landt met een snelheid van 8,0 m s^{-1} op de grond. Rolina maakt binnenkort haar eerste parachutesprong. Ze wil deze situatie nabootsen om te ervaren hoe hard ze op de grond zal landen. Daarvoor klimt ze op een ladder.
Van welke hoogte moet ze van de ladder springen om ook met 8,0 m s^{-1} op de grond te landen? Verwaarloos de luchtwrijving.

68 Andere planeet

Een onbemand ruimtevaartuig landt op een planeet. Voor de landing, als het ruimtevaartuig 10 m boven de oppervlakte van de planeet hangt, valt er een voorwerp uit het ruimtevaartuig dat na 2,3 s de grond raakt.

a Bereken de valversnelling op deze planeet.
b Op welke planeet vindt dit plaats?

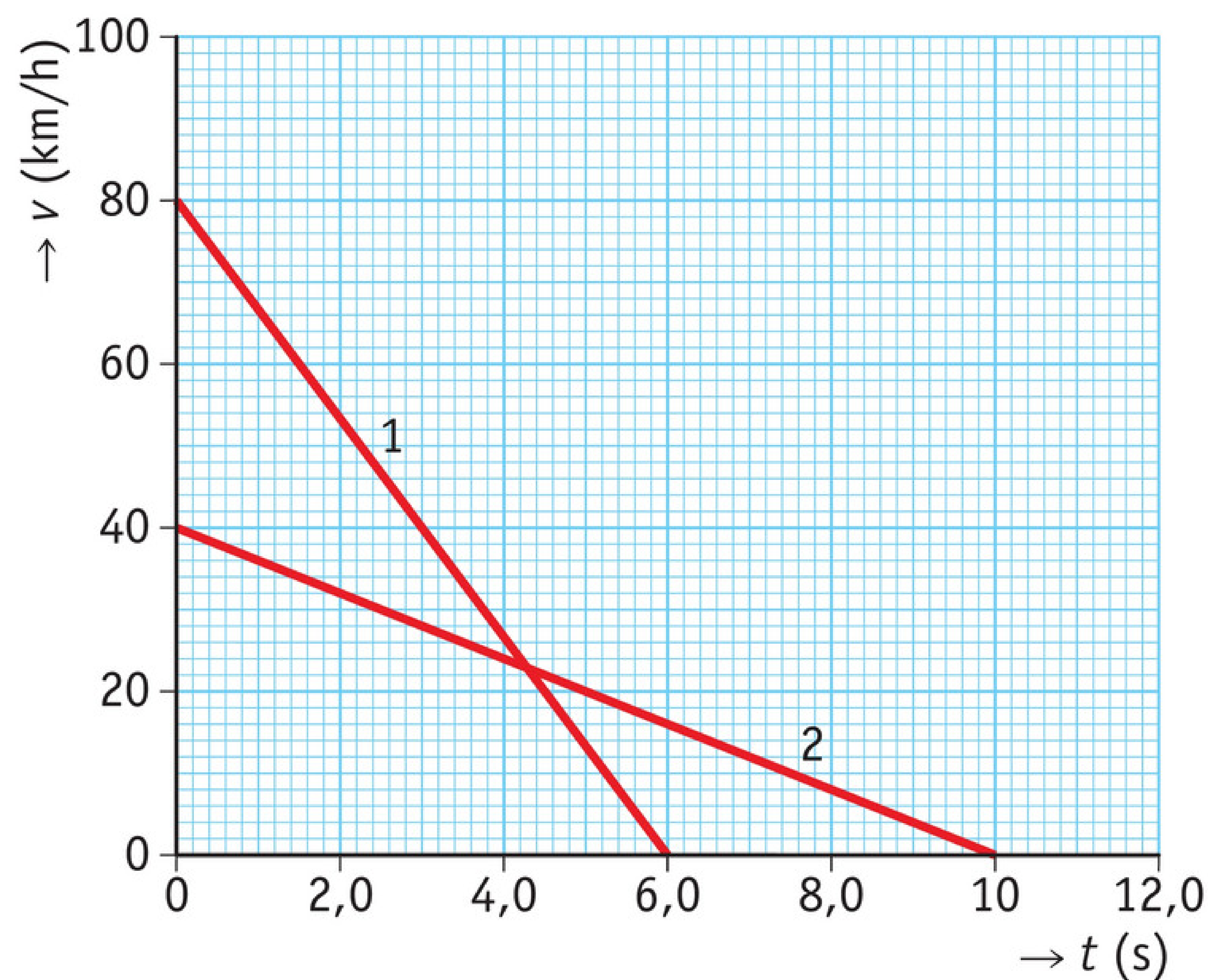
69 Vrije val van een kogel

Een kogel wordt op 30,0 m hoogte boven de grond losgelaten. Na 2,47 s bereikt de kogel de grond. Verwaarloos de luchtwrijving.

a Met welke snelheid bereikt de kogel de grond?
b Teken het (v,t)-diagram van de kogel.
c Bereken de afstand die de kogel heeft afgelegd op de volgende tijdstippen: t = 0,50 s, t = 1,00 s, t = 1,50 s en t = 2,00 s.
d Teken het (s,t)-diagram van de kogel.
e Teken het (h,t)-diagram van de kogel.

+70 (v,t)-diagram van twee remmende auto's

In figuur 33 is het (v,t)-diagram getekend van twee remmende auto's.



▲ **figuur 33** de (v,t)-diagrammen van twee remmende auto's

a Bepaal de vertraging van auto 1 en 2.
b Bepaal de remweg van beide auto's.
c Teken het (v,t)-diagram van een derde auto die met 120 km h^{-1} rijdt en vervolgens vertraagt met 6,0 m s^{-2}.
d Bereken de remweg van de derde auto.

+71 Vallende eieren

Je laat een ei van 1,0 cm hoogte in een eierdopje vallen. Daarna laat je een ander ei van 2,0 cm hoogte in een eierdopje vallen.

Beredeneer of het tweede ei met een twee keer zo grote snelheid neerkomt, met een minder dan twee keer zo grote snelheid of met een meer dan twee keer zo grote snelheid. Verwaarloos de luchtwrijving.

72 Modelleren

Bekijk het model van een vrije val. Het model berekent de hoogte *h* van een voorwerp dat een vrije val uitvoert.

modelregels	startwaarden en constanten
t = t + dt	t = 0
dv = g*dt	dt = 1,0
v = v + dv	g = 9,81
dy = v*dt	v = 0
y = y + dy	y = 0
h = h – y	h = 1,0E3
als h < 0 dan stop eindals	

De laatste regel geeft aan wanneer de computer moet stoppen met rekenen. Als deze regel er niet zou staan, rekent de computer gewoon door als *h* nul is geworden. Dan lijkt het of het vallend voorwerp versneld de grond inzakt. In de laatste regel van de startwaarden en constanten zie je hoe je de wetenschappelijke notatie invoert in het model. *h* = 1,0E3 betekent $h = 1{,}0 \cdot 10^3$.

a In dit model staan de grootheden *y* en *h*.
Leg uit wat met deze grootheden wordt bedoeld.
b Wat stelt *h* voor bij startwaarden en constanten?
c Hoe zie je aan het model dat dit een vrije val is?
d Reken de eerste drie rekenslagen van het model handmatig door.
e Iemand verandert de laatste regel van het model in: als *h* = 0 dan stop eindals.
Leg uit dat dit niet goed is.
f Wat moet je aan het model veranderen om luchtwrijving toe te voegen?

Eindopdracht

73 Felix Baumgartner

De Oostenrijkse skydiver Felix Baumgartner is bekend vanwege de extreme stunts die hij uitvoerde. Op 14 oktober bereikte hij een nieuw record. Hij sprong van 39,045 km hoogte uit een ballon naar beneden. Na 4 min en 19 s ging zijn parachute open. Hij bereikte een topsnelheid van 1357 km h^{-1}, wat overeenkomt met mach 1,25 ofwel 1,25 keer de geluidssnelheid. Na 10 min bereikte hij veilig de grond. Overigens duurde de vlucht omhoog met de heliumballon 2,5 uur. Deze bolvormige ballon was gevuld met 850 miljoen liter helium. Baumgartner zat in een capsule onder de ballon. Deze capsule beschermde hem tegen kou, de lage luchtdruk en zorgde voor de benodigde zuurstof.

a Schrijf de topsnelheid op in de wetenschappelijke notatie.
b Hoe groot is het aantal significante cijfers in de tijdsduur van de vlucht omhoog?
c Bepaal de meetonzekerheid in de hoogte en de topsnelheid.
d Reken het volume van de heliumballon om in m^3.
e Zoek in Binas een formule op voor het volume van een bol en bereken hiermee de straal van de ballon.
f Bereken de gemiddelde snelheid tijdens het stijgen van de ballon in m s^{-1}.
g Bereken de gemiddelde snelheid van de sprong.
h Bereken de geluidssnelheid in m s^{-1}.
i Bereken op welke hoogte de parachute openging als de luchtwrijving tot dit moment te verwaarlozen zou zijn. Leg uit dat dit niet mogelijk is.

Maak de online diagnostische toets (Test jezelf).

9 Practicum

EXPERIMENT 1 Reactietijd (begripspracticum)

Inleiding
Bij het uitvoeren van metingen probeer je zo nauwkeurig mogelijke meetresultaten te krijgen. Behalve de meetapparatuur speelt daarbij ook de meetmethode een belangrijke rol. Bij handmatige metingen van snelheden is de reactietijd een van de factoren die een rol spelen.

Onderzoeksvraag
In hoeverre beïnvloedt de reactietijd de nauwkeurigheid van het meetresultaat?

Benodigdheden
stopwatch (2×); liniaal

Uitvoering
Je werkt bij dit experiment in tweetallen.

Methode 1
- Neem allebei een stopwatch.
- Leerling 1 start op een willekeurig tijdstip de stopwatch.
- Leerling 2 start bij het zien van die actie zijn stopwatch.
- Een van de leerlingen zet daarna tegelijkertijd beide stopwatches stil. Het verschil in de af te lezen tijden is de reactietijd van leerling 2.
- Herhaal deze metingen een paar keer en bepaal de (gemiddelde) reactietijd van leerling 2.
- Herhaal alle metingen om de reactietijd van leerling 1 te bepalen.

Methode 2
- Leerling 2 houdt een liniaal aan de bovenkant vast (bij de grootste aangegeven schaalwaarde).
- Leerling 1 houdt duim en wijsvinger, los van de liniaal (circa 1 cm ruimte), bij de '0'-waarde van de schaalverdeling.
- Leerling 2 laat de liniaal op een willekeurig moment los.
- Leerling 1 grijpt dan zo snel mogelijk de liniaal vast.
- Lees de afstand (s) af waarover de liniaal in de reactietijd is gevallen.
- Bereken de reactietijd met de formule $t = \sqrt{\frac{s}{5}}$
- Herhaal deze metingen een paar keer om de (gemiddelde) reactietijd van leerling 1 te bepalen.
- Herhaal de meetserie om de reactietijd van leerling 2 te achterhalen.

Verwerking

1 Noteer jullie gemiddelde reactietijd op een overzichtstabel op het schoolbord.
2 Neem de hele overzichtstabel over en maak een histogram (grafiek) van de reactietijden van alle leerlingen van de groep.

Conclusie
3 Beantwoord de onderzoeksvraag.

EXPERIMENT 2 Dichtheid (onderzoekspracticum)

Inleiding
De dichtheid van een stof is een materiaaleigenschap. Je kunt de dichtheid van een voorwerp berekenen als je de massa en het volume van het voorwerp kent. Je berekent de dichtheid met de formule $\rho = \frac{m}{V}$

Je kunt de dichtheid van een stof op verschillende manieren bepalen. Als je de dichtheid van een stof kent, is met behulp van Binas tabel 8 tot en met 12 af te leiden van welke stof het voorwerp is gemaakt.

Onderzoeksvraag
Welke methode is het meest nauwkeurig als je de dichtheid van een stof wilt vaststellen?

Benodigdheden
4 voorwerpen (2 blokjes, 2 cilindertjes) van verschillende materialen; veerunster; digitale weegschaal; liniaal; maatcilinder

Uitvoering
Om de dichtheid van een stof te bepalen, moet je de massa en het volume opmeten.

- Bepaal de dichtheden van de vier voorwerpen met behulp van de veerunster en de maatcilinder.
- Bepaal de dichtheden van de vier voorwerpen met behulp van de digitale weegschaal en de liniaal.

Verwerking

1 Verwerk je meetresultaten in een duidelijke tabel.
2 Zoek in Binas op van welke materialen de voorwerpen zijn gemaakt.
3 Leg uit bij welke meetmethode de meetonzekerheid het grootst was.
4 Noem twee aanpassingen van meetmethode of gebruikte meetapparatuur waarmee je de meetresultaten kunt verbeteren.

Conclusie
5 Beantwoord de onderzoeksvraag.

EXPERIMENT 3 Vrije val (apparatuurpracticum)

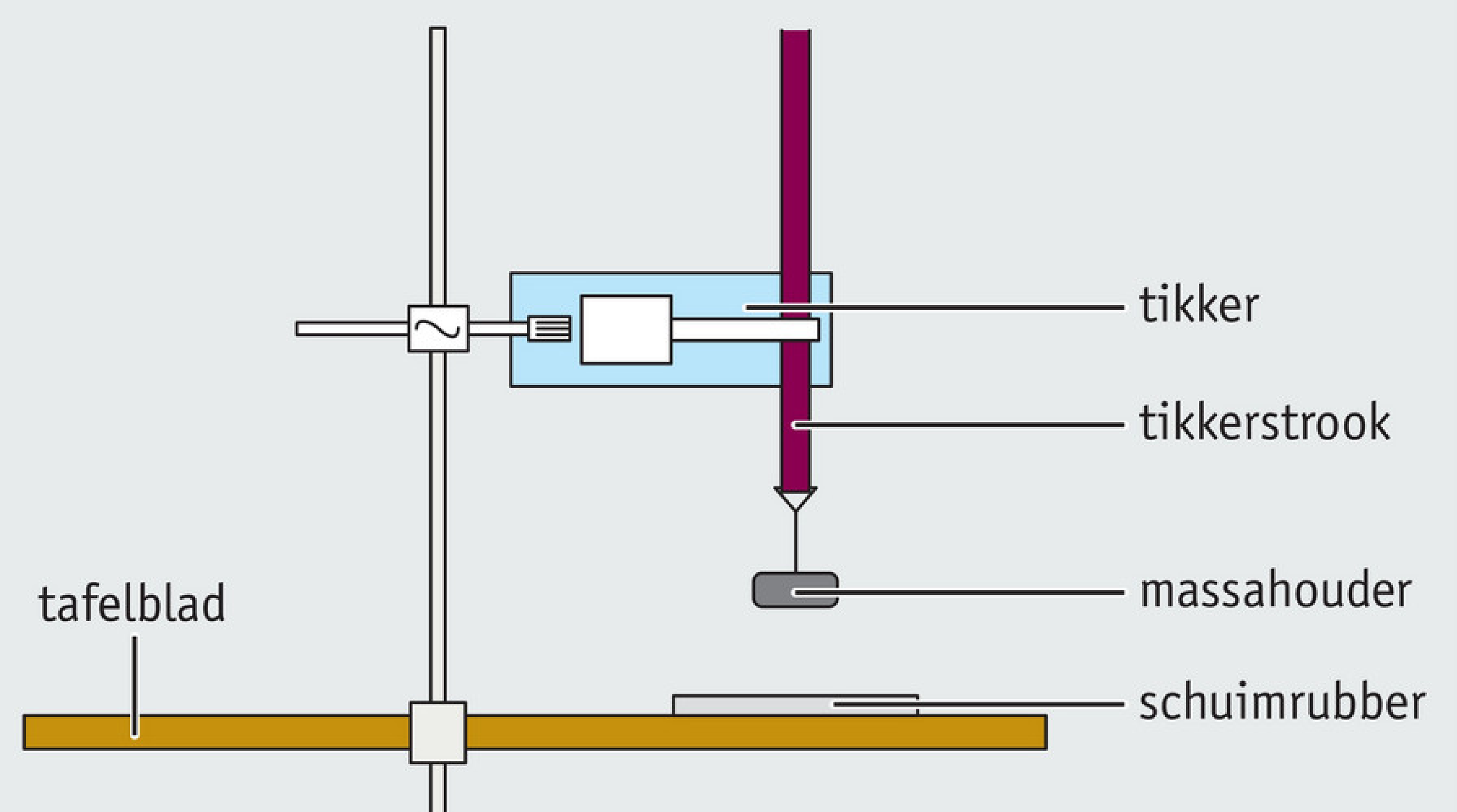
Inleiding
Een voorwerp dat zonder luchtwrijving valt, voert een vrije val uit. Dat is een eenparig versnelde beweging met een versnelling g = 9,81 m s^{-2}. Als er wel wrijving optreedt, is de versnelling kleiner dan 9,81 m s^{-2} en is er geen sprake van een vrije val.

Onderzoeksvraag
Is de val van een gewichtje van 100 g een vrije val?

Benodigdheden
tijdtikker; spanningsbron; snoertjes; 1,0 m tikkerstrook; 1 gewichtje van 100 g; plakband; statiefmateriaal

Uitvoering
Je gebruikt bij dit experiment een tijdtikker. Dat is een apparaat dat regelmatig stippen zet op een strookje papier. De meeste tijdtikkers zetten 50 stippen per seconde. Tussen het zetten van twee stippen verstrijkt dan 0,020 s.

- Bevestig de tijdtikker aan een statief en zet het statief op de rand van de tafel. Je kunt het statief ook aan de tafel vastmaken zoals in figuur 34.
- Neem een stuk tikkerstrook van ongeveer 1,0 m lengte. Plak het gewichtje aan het uiteinde van de strook.
- Zet de tijdtikker aan en laat de strook door de tijdtikker vallen.



▲ **figuur 34** de opstelling van experiment 3

Verwerking

1 Markeer op de strook de stippen 1, 4, 7, 10, 13, enzovoort zoals in figuur 35.
2 Meet de afstand s_1 van stip 1 tot stip 4.
3 Meet de afstanden s_2 van stip 4 tot stip 7, s_3 van stip 7 tot stip 10, enzovoort. Vul in tabel 5 de resultaten in de linkerkolom in.
4 Bereken de tijdsduur Δt die verloopt bij de afstand s_1.
5 Leg uit waarom de tijdsduur Δt bij elke volgende afstand s even groot is.
6 Bereken de gemiddelde snelheid van het gewichtje bij het afleggen van alle afstanden. Vul de resultaten in de middelste kolom van tabel 5 in. Maak de tabel zo lang als nodig.
7 Bij opdracht 6 heb je gemiddelde snelheden berekend. Vul in de rechterkolom van tabel 5 de tijdstippen t in waarop het vallende gewichtje deze snelheid daadwerkelijk had.
8 Teken het (v,t)-diagram.
9 Bepaal uit het (v,t)-diagram de versnelling van het vallende gewichtje.

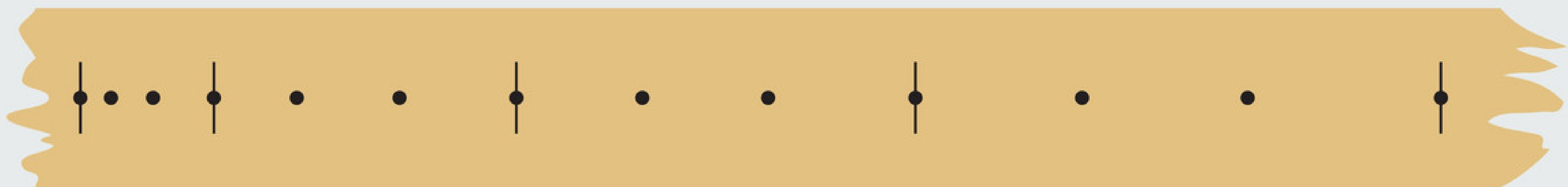
Conclusie

10 Beantwoord de onderzoeksvraag.

▼ **tabel 5** de gegevens van experiment 3 geordend

s (m)	v_{gem} (m s^{-1})	t (s)

▼ **figuur 35** markeringen op de tijdtikkerstrook



Je docent beslist of je de volgende experimenten uitvoert volgens de instructies of dat je de uitgebreide omschrijving krijgt.

EXPERIMENT 4 Signaalsnelheid van bluetooth (onderzoekspracticum)

Inleiding

Signalen voor smartphones hebben een grote snelheid. In dit experiment ga je die snelheid bepalen.

Onderzoeksvraag

Is de signaalsnelheid afhankelijk van het type smartphone en de afstand tussen de smartphones?

EXPERIMENT 5 Meten met een ultrasone snelheidsmeter en Coach (apparatuur-demoproef)

Inleiding

Met een ultrasone afstandsmeter bepaal je de afstand tussen een voorwerp en de sensor. De ultrasone afstandsmeter zendt een onhoorbaar geluidssignaal uit dat weerkaatst wordt door een voorwerp. De meter meet de tijd waarin het signaal heen en terug beweegt. Omdat de snelheid waarmee het signaal reist bekend is, kun je de afstand tot het voorwerp berekenen. De ultrasone afstandsmeter wordt aangesloten op een meetpaneel dat verbonden is met een computer.

Op de computer is het programma Coach geïnstalleerd waarmee je de gemeten waarde van de sensor kunt uitlezen. Met Coach kun je een (v,t)-diagram en een (s,t)-diagram maken van een voorwerp dat zich verplaatst.

Onderzoeksvraag

Welk (v,t)-diagram hoort bij welk (s,t)-diagram?

EXPERIMENT 6 Snelheidsmeting met een camcorder (onderzoekspracticum)

Inleiding
Het meten van snelheden bij experimenten kan met rolmeter en stopwatch. Als je snelheden van voertuigen wilt meten, zijn deze meetinstrumenten echter niet bruikbaar. Je zou, zoals ook de politie dat doet, gebruik kunnen maken van een radarsysteem. Maar ook met een eenvoudige camcorder kun je de snelheid bepalen.

Onderzoeksvraag
Hoe groot is de snelheid van passerend verkeer?

ONDERZOEK Karretje op hellend vlak

Regelmatig wordt je in deze lesmethode gevraagd een *open onderzoek* uit te voeren, waarin niet staat beschreven hoe je zoiets aanpakt. Hier zie je een uitgewerkt voorbeeld van zo'n open onderzoek.

Inleiding
Als je een karretje op een hellend vlak zet, rijdt dat karretje eenparig versneld naar beneden.

Onderzoeksvraag
Hangt de versnelling van dat karretje af van de massa van dat karretje? Zo ja, hoe?

Aanpak
1 Je begint met het opstellen van een hypothese. Dat is een voorlopig antwoord dat je bedenkt zonder een experiment te hebben gedaan. Zo kan de hypothese in dit geval bijvoorbeeld zijn: *Hoe groter de massa van het karretje, des te groter de versnelling.*
2 Je gaat vervolgens de invloed van de massa van het karretje op de versnelling van dat karretje onderzoeken. Allereerst moet je dus de massa van het karretje kunnen variëren. Dat doe je door gewichtjes op het karretje te bevestigen. Meet de massa van het karretje zonder gewichtjes erop en bepaal de massa van de gewichtjes.
3 Je kunt de versnelling van het karretje niet rechtstreeks meten. Je moet dus iets anders meten waarmee je de versnelling kunt berekenen. Je kunt met een meetlint de afstand meten die het karretje aflegt en met een stopwatch de tijdsduur die het karretje hiervoor nodig heeft.
4 Nu moet je bedenken hoe je met deze afstand s en tijdsduur t de versnelling a kunt uitrekenen. Reken eerst de gemiddelde snelheid uit met:

$$v_{gem} = \frac{s}{t}$$

Bereken dan de eindsnelheid (onder aan de helling) met de formule $v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$

waarbij je weet dat de beginsnelheid van het karretje (boven aan de helling) nul is.
Dan kun je tot slot de versnelling berekenen met de formule $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
5 Voer nu de metingen uit waarbij je de massa van het karretje varieert. Voer bij elke massa verschillende metingen uit. Bereken per massa de gemiddelde tijd.
6 Bereken met de bij 3 en 4 beschreven methode de versnellingen.
7 Maak een tabel met daarin de massa en de versnelling. Eventueel kun je een grafiek tekenen.
8 Nu kun je de onderzoeksvraag beantwoorden.
9 Maak een verslag van het experiment. Bedenk dat je de resultaten op verschillende manieren kunt presenteren: poster, podcast, video, enzovoort. Houd je aan de voorwaarden die voor elke presentatievorm gelden.

Conclusie
Beantwoord de onderzoeksvraag.



HOOFDSTUK 2

Elektriciteit

Zonnecellen, batterijen en het lichtnet zijn voorbeelden van elektrische spanningsbronnen. Met de elektrische energie van een spanningsbron kun je een stroom laten lopen om een elektromotor te laten draaien. Om dat voor elkaar te krijgen, moet je de spanningsbron en de elektromotor opnemen in een elektrische schakeling. Bij elektriciteit moet je je steeds bewust zijn van de risico's: een te grote stroomsterkte door je lichaam kan fataal zijn.

Wat weet je al over elektriciteit?

Leerdoelen
1 Je kunt het principe van een transformator uitleggen.
2 Je kunt uitleggen wat wordt bedoeld met overbelasting en kortsluiting.
3 Je herkent de verschillende soorten elektriciteitsdraad.
4 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen weerstand, spanning en stroomsterkte.
5 Je kunt uitleggen wanneer voor een component de Wet van Ohm geldt.
6 Je kunt benoemen hoe de weerstand van een NTC verandert bij een veranderende temperatuur.

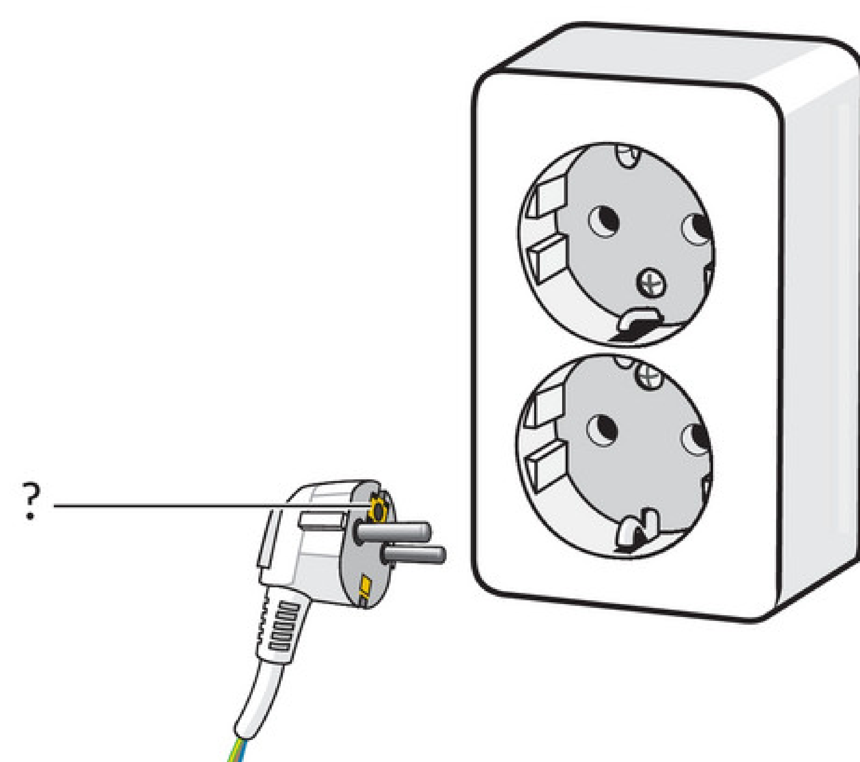
In de vorige leerjaren heb je al een aantal dingen over elektriciteit geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

Opdrachten voorkennis

1 Geef van elke bewering aan of deze waar of onwaar is.
Een transformator werkt alleen op wisselspanning. *waar / onwaar*
In de ijzeren kern van een transformator bevindt zich een magneetveld dat voortdurend van richting verandert. *waar / onwaar*

2 Geef van elke bewering aan of deze waar of onwaar is.
Bij overbelasting is de stroomsterkte te hoog. Hierdoor kan er brand ontstaan. *waar / onwaar*
Kortsluiting is een andere situatie dan overbelasting. Door kortsluiting kan geen brand ontstaan. *waar / onwaar*

3 In afbeelding 1 zie je een tekening van een stekker en een stopcontact.
Hoe heet het onderdeel dat in de figuur wordt aangegeven met het vraagteken?
☐ fasedraad
☐ nuldraad
☐ randaarde
☐ zekering



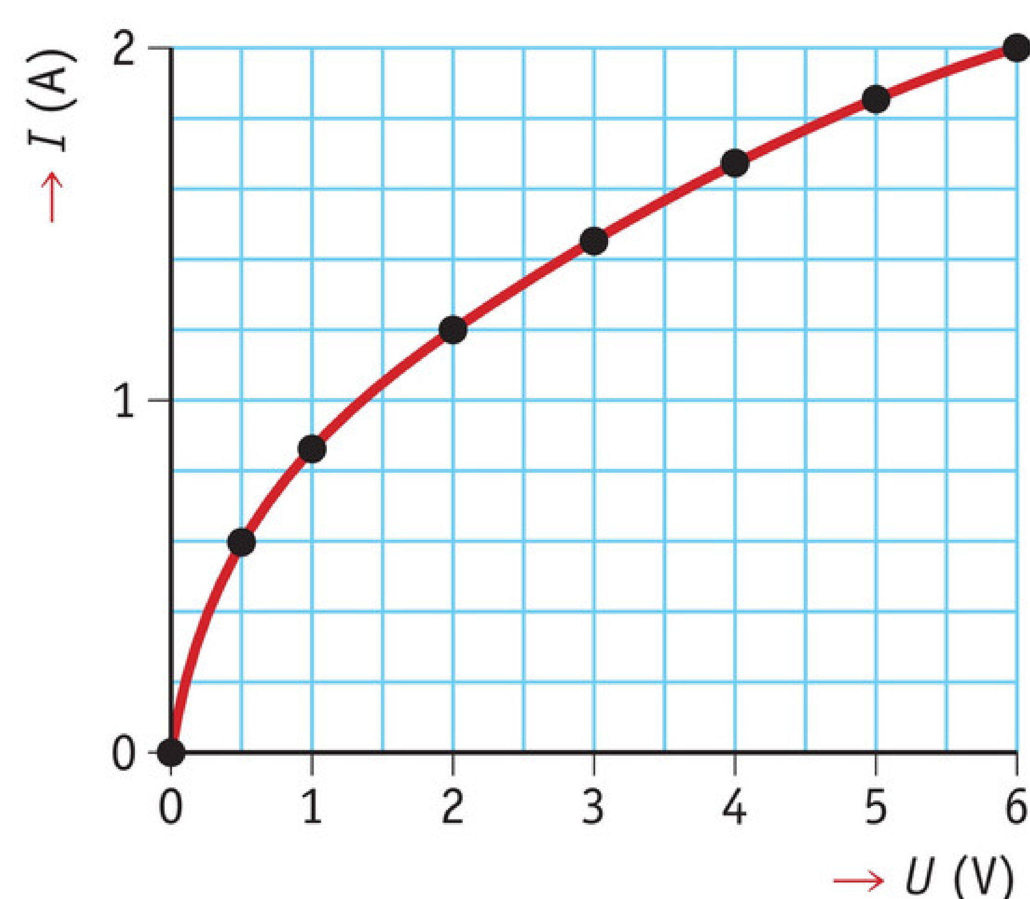
▲ **afbeelding 1**

4 Bij een webwinkel kun je reservelampjes kopen voor een zaklantaarn. In de beschrijving staat:

Reservelamp voor zaklamp 3,5 V – 0,7 W – 200 mA Fitting = E10 – Helder

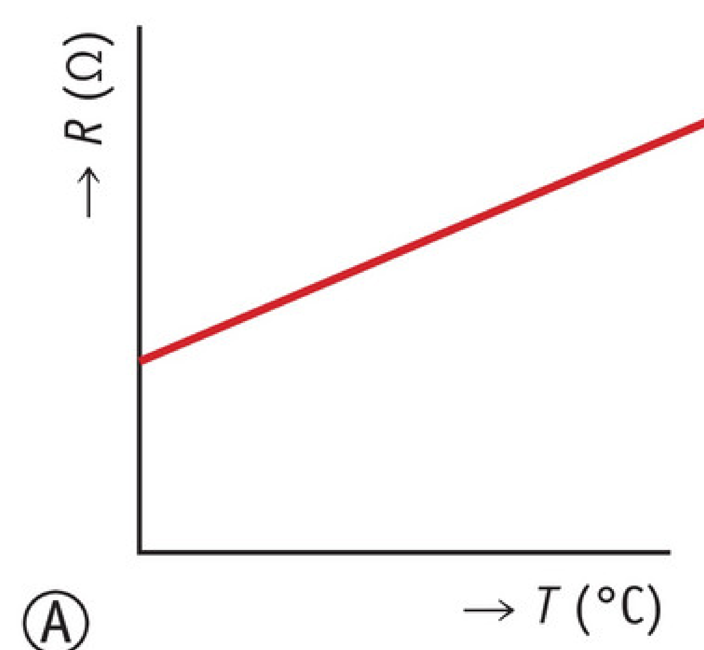
Bereken de weerstand van het reservelampje als dit op de juiste spanning brandt. Rond af op één decimaal.
De weerstand van het reservelampje is ________ Ω als het op de juiste spanning brandt.

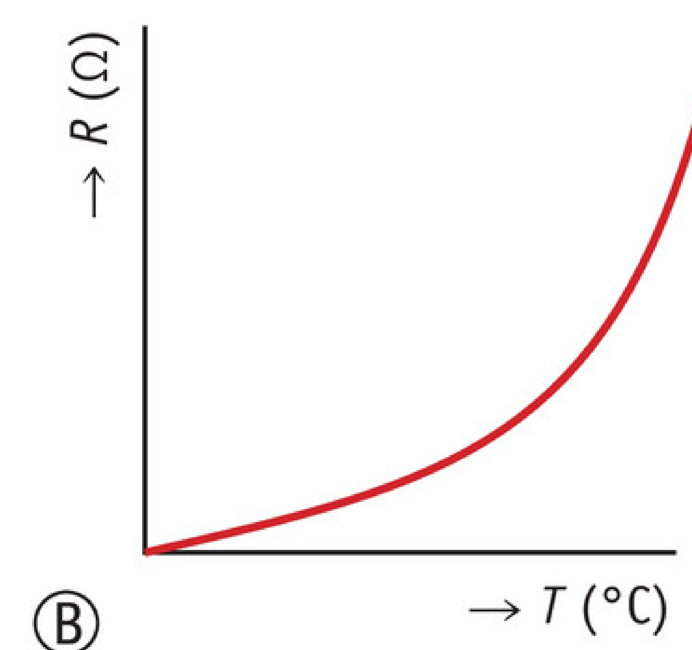
5 Zoë heeft enkele metingen verricht aan een zeer dunne metaaldraad. Haar resultaten heeft ze verwerkt in het (I, U)-diagram (afbeelding 2).
Wat kun je zeggen over de weerstand van de draad als er meer spanning over staat?
De weerstand *blijft gelijk* / *wordt groter* / *wordt kleiner*.

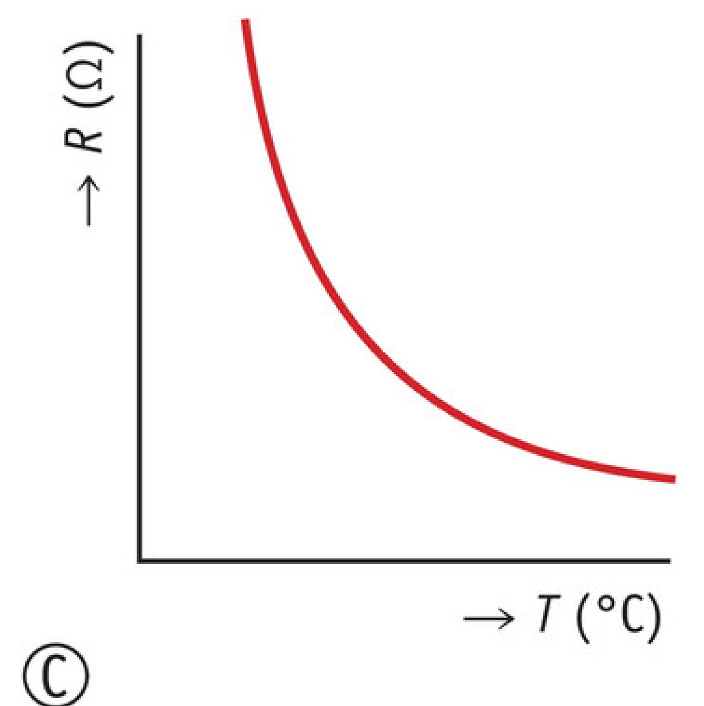


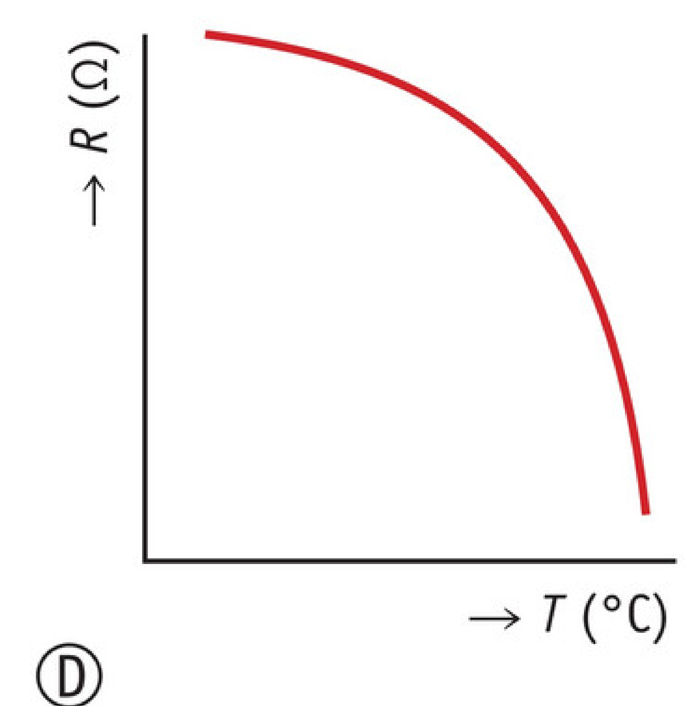
▲ **afbeelding 2**

6 De weerstand van een NTC houdt verband met de temperatuur.
In welke grafiek is dit verband juist getekend?
☐ in grafiek A
☐ in grafiek B
☐ in grafiek C
☐ in grafiek D









▲ **afbeelding 3**

Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*.

Praktijk

Elektriciteit in het lichaam

Elke dag maak je gebruik van elektriciteit. Denk maar aan de koelkast en de lampen in huis en niet te vergeten je telefoon. Deze elektriciteit is kunstmatig, omdat deze door de mens wordt opgewekt. Maar in de natuur komt ook elektriciteit voor. Denk bijvoorbeeld aan bliksem, maar ook aan de sidderaal, een zoetwatervis die in Zuid-Amerika voorkomt en die stroomstoten kan afgeven. En misschien verrassend: elektriciteit komt ook in het menselijk lichaam voor.



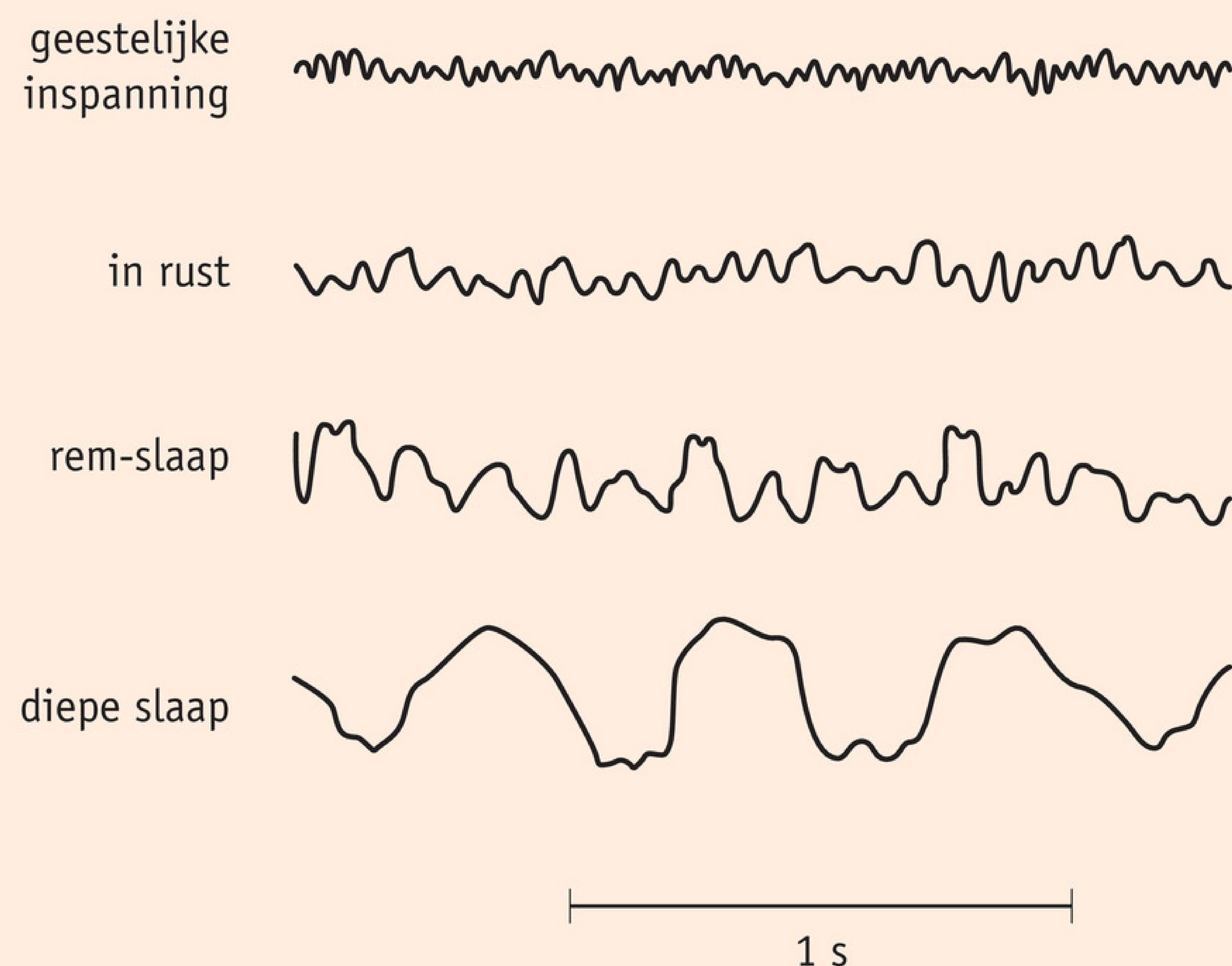
Elektriciteit in de hersenen

In de hersenen lopen minieme elektrische stroompjes. Artsen kunnen de werking van de hersenen dan ook onderzoeken door op het hoofd elektroden te bevestigen die de hersenactiviteit meten. Meestal zitten die elektroden in een soort muts die op het hoofd van de patiënt wordt geplaatst (figuur 1). De spanningen die zo gemeten worden zijn heel klein, in de orde van grootte van 100 μV. De grafiek die op basis van de metingen wordt gemaakt, heet eeg, ofwel elektro-encefalogram (*encefalo* betekent hersenen). Met een eeg kunnen ziekten worden opgespoord die iets te maken hebben met het functioneren van de hersenen, zoals epilepsie (figuur 2).

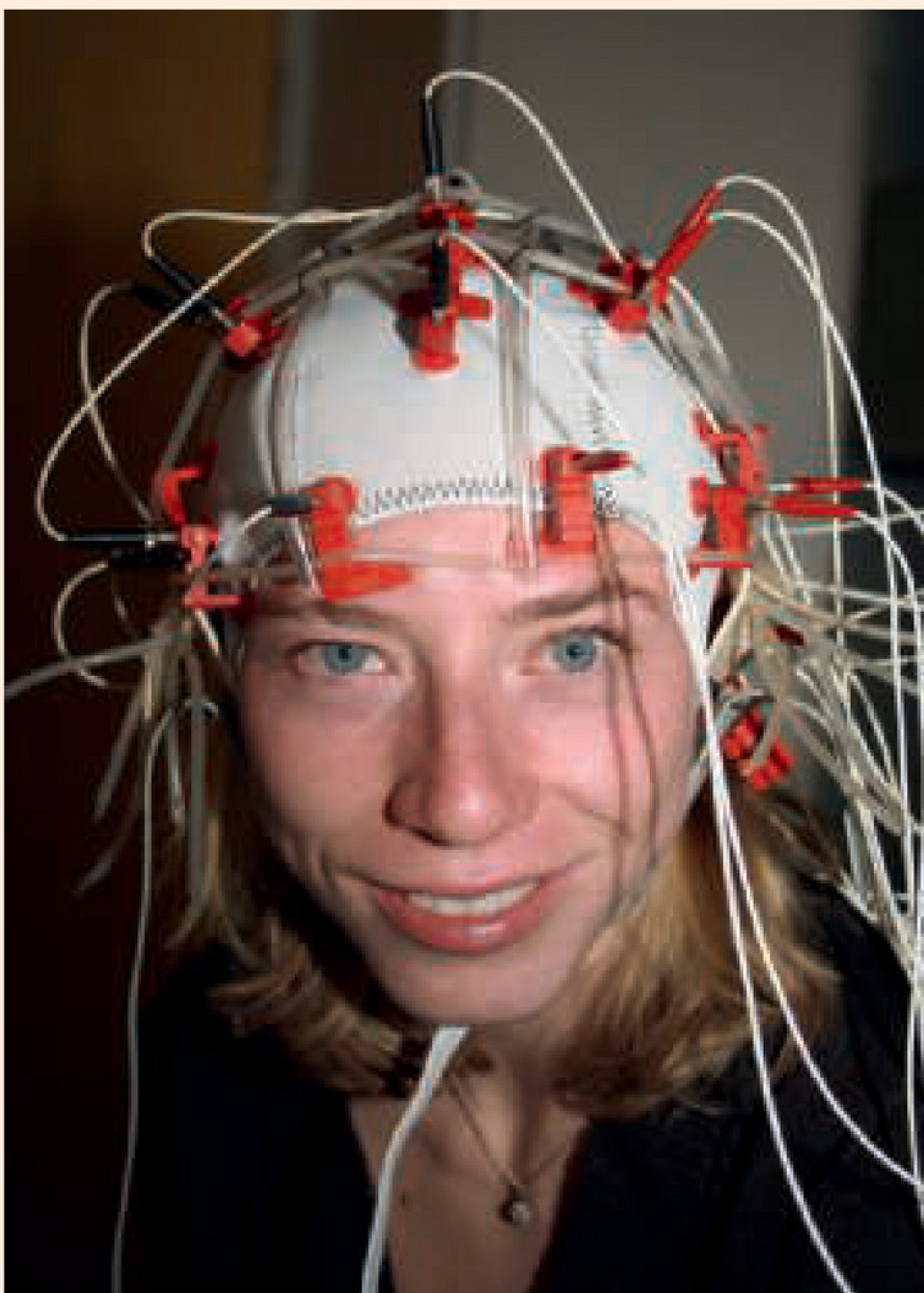
Elektriciteit in het hart

Het menselijk hart klopt normaal gesproken ongeveer 70 keer per minuut. Elke keer wordt bloed in de slagaders en aders door het lichaam gepompt. Het pompen van het hart is in feite het samenknijpen van alle hartcellen tegelijkertijd. De zogeheten sinusknoop, een groep cellen in de rechterboezem van het hart, produceert een elektrische spanning. Deze spanning verplaatst zich door het hele hart en zet de hartcellen aan om zich samen te trekken. Als alle cellen dit tegelijk doen, werkt het hart als een krachtige pomp. Bij een hartstilstand trekken de spiercellen zich niet meer *tegelijkertijd* samen, maar willekeurig. Daardoor pompt het hart niet meer. Door aan het hart met een defibrillator een spanningsstoot toe te dienen, gaan alle cellen zich weer tegelijk samentrekken en functioneert het hart weer. Je vindt tegenwoordig op steeds meer plaatsen defibrillatoren, zelfs op scholen.

Hoe groter de stroom, des te gevaarlijker het is.



▲ **figuur 2** een eeg



▲ **figuur 1** een eeg maken



▲ **figuur 3** een aed

Een moderne defibrillator vertelt je stap voor stap wat je moet doen. Een defibrillator heet ook wel een aed: automatische externe defibrillator (figuur 3).

Elektrocutie

Als er een stroom door je lichaam loopt die daar niet thuishoort, wordt dat elektrocutie genoemd. Er kan dan van alles met je gebeuren. Een heel kleine stroom veroorzaakt een kriebelend gevoel. Vroeger waren er op middelbare scholen 'folterkastjes' aanwezig waarmee je zo'n kleine stroom door je lichaam kon laten lopen. Zo'n kleine stroom uit een folterkastje doet geen pijn en is niet gevaarlijk. Grotere stromen die door je lichaam lopen, kunnen wel gevaarlijk zijn. Hoe gevaarlijk hangt van een aantal factoren af: de grootte van de stroom, hoelang deze stroom door je lichaam loopt en door welke organen de stroom loopt. Hoe groter de stroom, des te gevaarlijker het is. De grootte van de stroom die door je lichaam loopt, hangt af van de spanning die over je lichaam staat en van de weerstand van het lichaam.

Hoe vochtiger je huid, des te kleiner de weerstand.
Als er een stroom door je lichaam loopt, gaan de spieren zich samentrekken. In het ernstigste geval trekken ook je hartspier en de spieren die zijn betrokken bij de ademhaling zich samen. Dan ontstaat een levensgevaarlijke situatie. Verder produceert de stroom warmte in het lichaam. Hierdoor kunnen brandwonden ontstaan. In tabel 1 kun je zien wat er met je lichaam gebeurt als er een stroom doorheen loopt.

▼ **tabel 1** effecten van elektrische stroom op het menselijk lichaam

stroomsterkte	verschijnsel
2 mA	kriebeling in de hand
40 mA	spieren verkrampen in hand en onderarm
90 mA	ademhalingsstilstand
300 mA	verlies van bewustzijn
1 A	hartstilstand waarbij slachtoffer overlijdt

TENS

Elektriciteit en magnetisme worden ook gebruikt om pijn te bestrijden. Zo worden met behulp van TENS (transcutane elektrische neurostimulatie) zenuwen geprikkeld met elektrische stroom die door de huid gaat, zie tabel 1. Elektriciteit om pijn te bestrijden wordt al van vlak na de jaartelling toegepast. Pijnlijke plekken zouden behandeld kunnen worden door er een levende sidderrog tegenaante houden. Tegen het einde van de achttiende eeuw hadden onder meer Alessandro Volta en Joseph Priestley de effecten van elektriciteit op mensen en dieren beschreven. Het moderne TENS wordt zelfs door zorgverzekeraars vergoed. Wetenschappelijk bewijs dat de methode daadwerkelijk helpt bij pijnbestrijding is echter flinterdun.

▼ **tabel 2** toepassingen van TENS in de medische literatuur

neurologische pijnen:	chirurgie:
neuropathie, plexuslaesies, reflexdystrofie, migraine, (cluster) hoofdpijn, trigeminusneuralgie of faciale pijn, (post)herpetische neuralgie, fantoompijn	bij acuut trauma, (acute) post-operatieve pijn
spierpijn:	**urologie:**
algemeen, nek-/schouder-/lagerugpijn	urologische stoornissen, pijn in het kleine bekken, incontinentie
oncologie:	**orthopedie:**
palliatieve pijn, botmetastasen	(osteo)artritis
psychiatrie:	**reumatologie:**
Golfoorlogsyndroom	revalidatie bij reumatoïde artritis
gynaecologie:	**tandartsgeneeskunde:**
gynaecologische pijn / neoplasmata, pijn tijdens de bevalling, pijn na sectio	tijdens tandheelkundige ingrepen
cardiologie:	**overige:**
angina pectoris	algemene chronische pijnen, weefseldoorbloedingsstoornissen, chronische pancreatitis, brandwonden

naar: Stichting Skepsis

Opdrachten

Bestudeer eerst de theorie van dit hoofdstuk voordat je de volgende opdrachten uitvoert.

1 Onder spanning
Door een defect staat het metalen omhulsel van een wasmachine onder een spanning van 230 V. Stel dat je dit omhulsel aanraakt.

- **a** Bereken de stroomsterkte die door je lichaam gaat als je kurkdroog bent en een weerstand hebt van 32 kΩ.
- **b** Leg uit of de stroomsterkte die je bij opdracht a hebt berekend gevaarlijk is.
- **c** Bereken de stroomsterkte die door je lichaam gaat als je kletsnat bent, waardoor je een weerstand hebt van 500 Ω.
- **d** Is de stroomsterkte die je bij opdracht c hebt berekend gevaarlijk?
- **e** Op welke manier kun je voorkomen dat een te grote stroomsterkte door je lichaam gaat? Licht je antwoord toe.

2 Elektrische vissen
In de natuur komen vissen voor die stroomstoten gebruiken om een prooi te verlammen. Een voorbeeld van zo'n vis is de sidderaal.
Op internet staat over de sidderaal de volgende zin: 'Een sidderaal verdooft zijn prooi met een stroomstoot van enkele honderden volts.'
Wat is er natuurkundig gezien niet juist aan deze uitspraak?

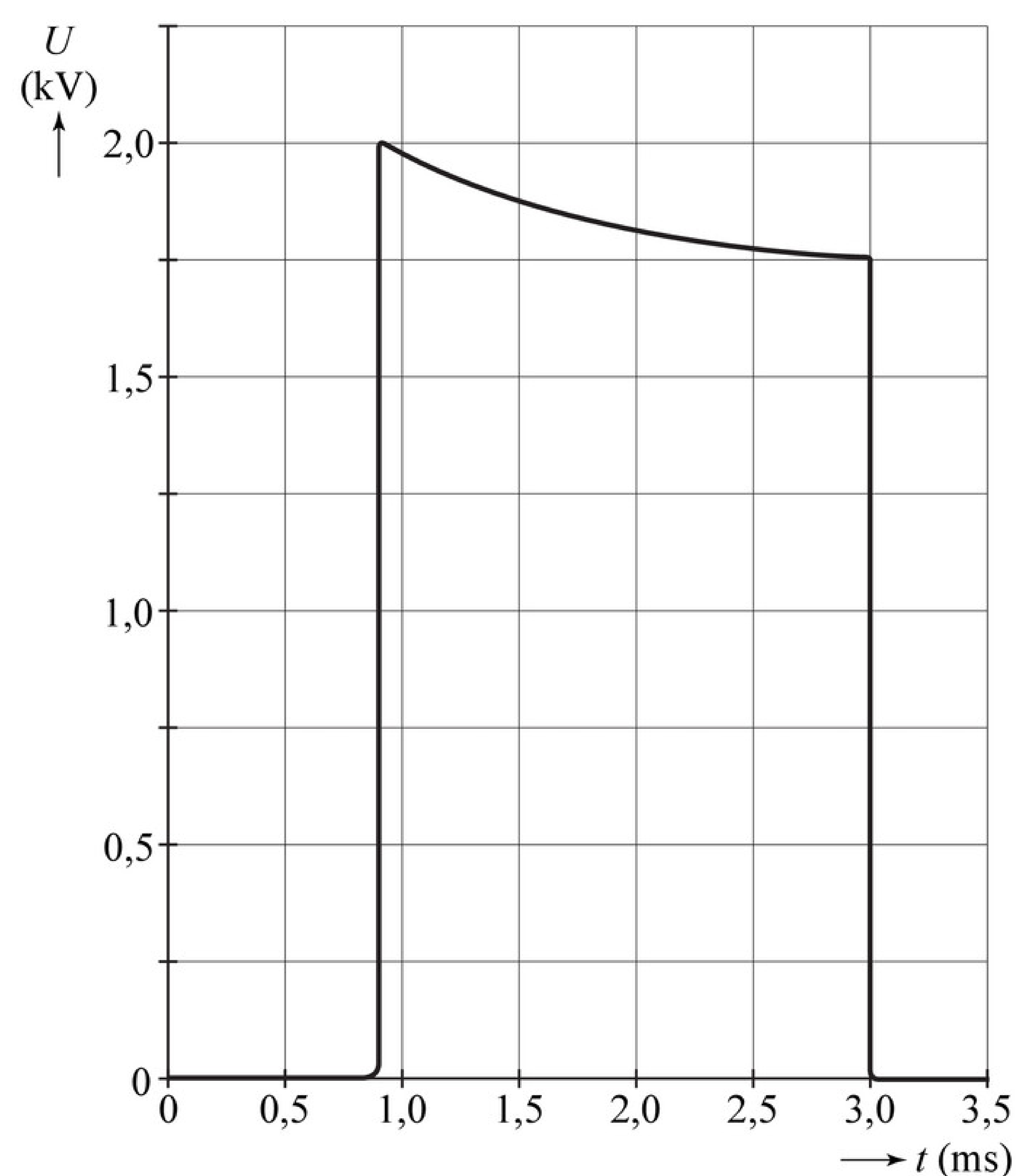


▲ **figuur 4** de elektroden van de defibrillator

3 Defibrillator
Een defibrillator wordt gebruikt om het hart van mensen met een acute hartstilstand te reactiveren.
De borstkas van de patiënt wordt ontbloot, waarna elektrisch geleidende gel op de huid wordt gesmeerd. Nadat de elektroden (figuur 4) op de gel zijn geplaatst, dient men een korte sterke spanningspuls toe. Door het hart van de patiënt loopt dan gedurende korte tijd een grote stroom.
In figuur 5 staat het verloop van de spanning als functie van de tijd weergegeven.
Dankzij de gel is de weerstand tussen de elektroden slechts 25 Ω. Neem aan dat deze weerstand tijdens de duur van de puls constant is.

- **a** Bepaal de grootste stroomsterkte tijdens de puls tussen de elektroden.
- **b** In noodsituaties gebruikt men de defibrillator soms zonder eerst gel aan te brengen. De weerstand tussen de elektroden is dan veel groter. Leg uit wat het gevolg hiervan is voor het vermogen van de puls.

bron: examen vwo 2009-II



▲ **figuur 5** de (U,t)-grafiek van de spanningspuls van een defibrillator

1 Lading

In deze paragraaf leer je:
- het begrip 'vrij elektron' kennen;
- dat ladingen elektrische krachten op elkaar uitoefenen;
- de begrippen 'geleider' en 'isolator' begrijpen.

Er zijn twee typen lading: positieve en negatieve lading. Voorwerpen met hetzelfde type lading stoten elkaar af en voorwerpen met een verschillend type lading trekken elkaar aan.

Elektronen

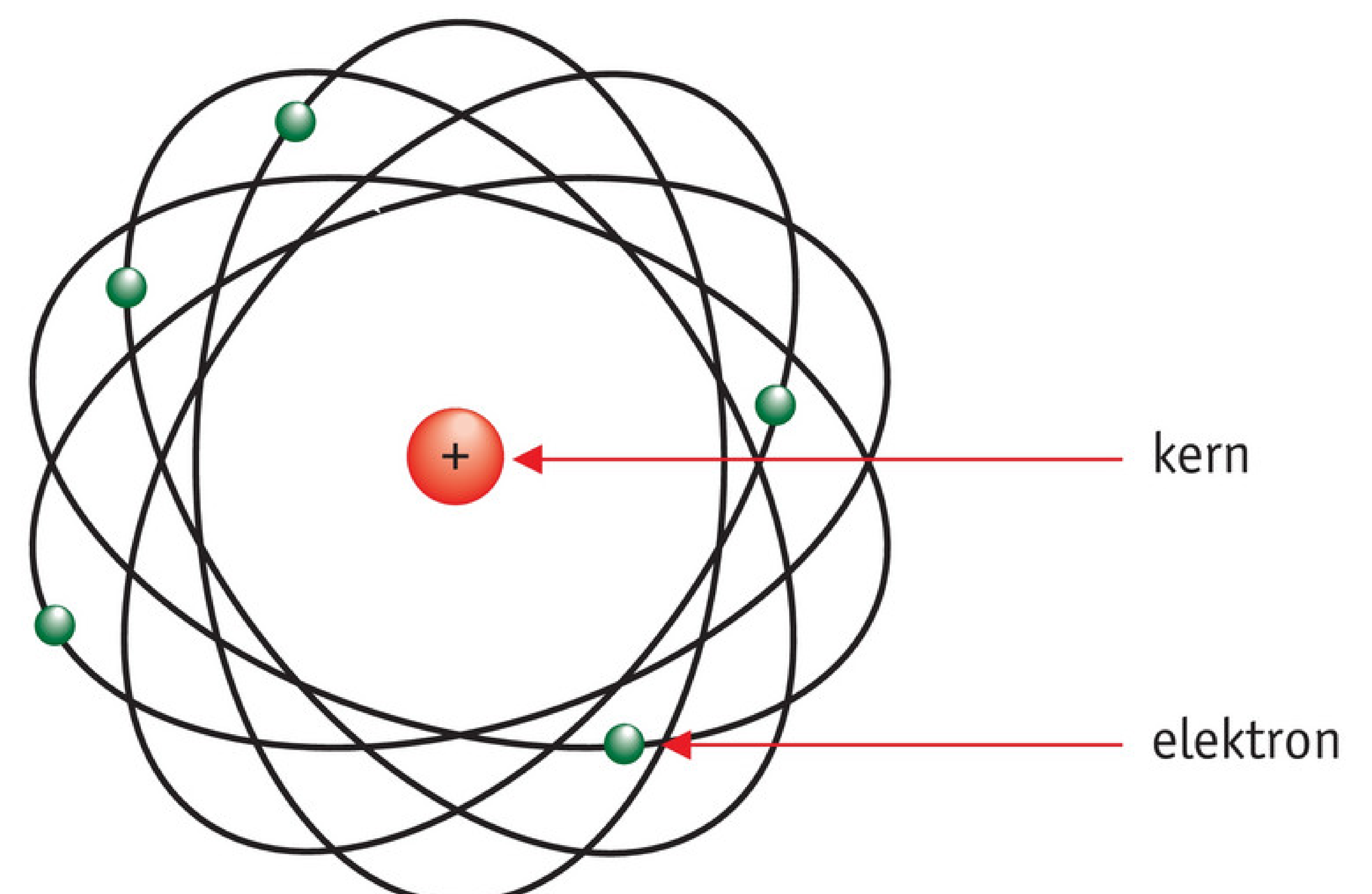
Je herinnert je misschien proefjes waarbij je met behulp van een doek een neutrale pvc-buis statisch kon laden. De verklaring hiervoor is dat een neutraal voorwerp wél lading bezit, namelijk evenveel positieve als negatieve lading. Door het wrijven wordt de lading gescheiden. Daardoor krijgt de pvc-buis negatieve lading en blijft het doekje met een even grote overmaat positieve lading achter.
De negatieve lading die naar de buis is overgesprongen, bestaat uit kleine deeltjes: **elektronen**.
Deze elektronen bezitten elk de allerkleinste hoeveelheid lading die in de natuur kan voorkomen: de **elementaire lading *e***.
Als een groot aantal elektronen van het doekje naar de buis springt, wordt de buis negatief geladen. Door het toenemend aantal elektronen op de buis wordt de onderlinge afstotende elektrische kracht steeds groter. Hierdoor kunnen volgende elektronen steeds moeilijker op de buis komen en stopt uiteindelijk het opladen.
Een neutraal voorwerp wordt positief geladen als elektronen het voorwerp verlaten. Er bestaan geen vergelijkbare kleine en beweeglijke positieve deeltjes.

Atoommodel

De verklaring voor het scheiden van de lading is te vinden bij de allerkleinste deeltjes waaruit een element bestaat: het atoom. Een atoom is zó klein dat je het niet kunt zien. Om de eigenschappen van een atoom te verklaren, kun je gebruikmaken van een atoommodel (figuur 2).

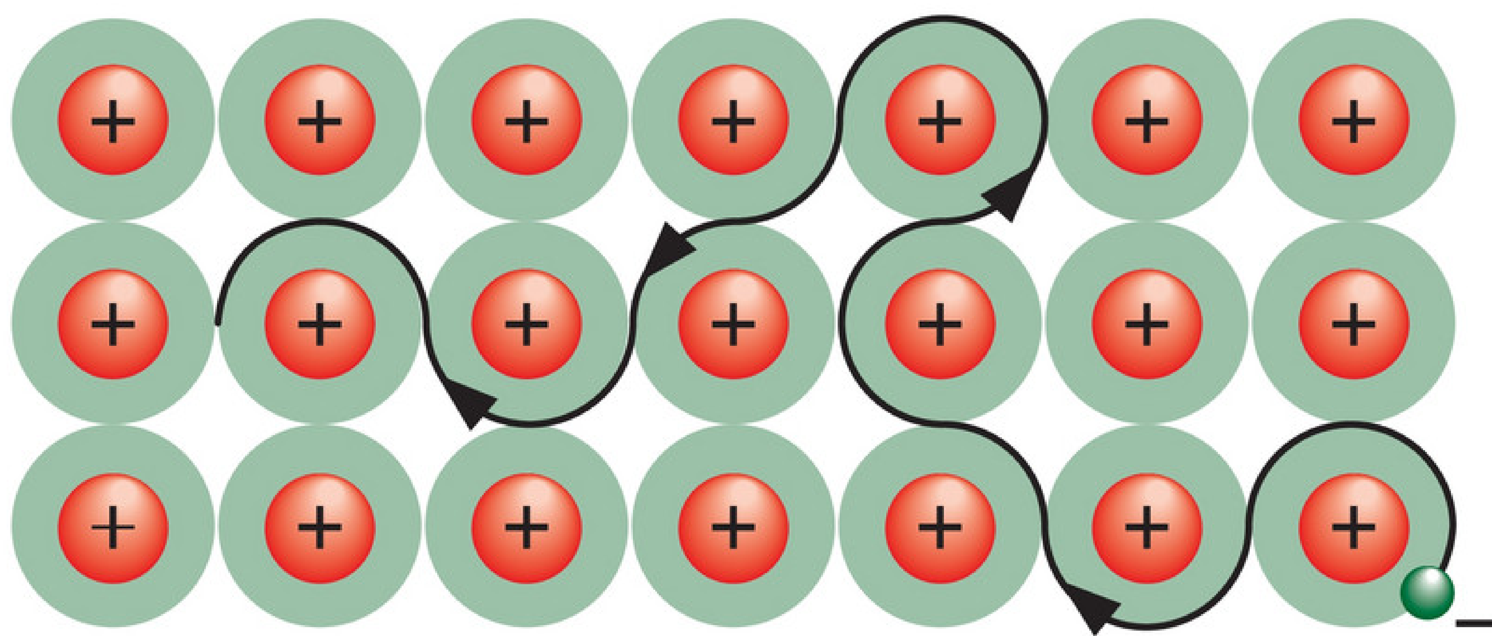


▲ **figuur 1** De haren van dit meisje zijn elektrisch geladen.



▲ **figuur 2** een atoommodel

In het atoommodel is te zien dat een atoom bijna helemaal leeg is. Alleen de kern en een aantal kleine deeltjes, de elektronen die om de kern heen bewegen, hebben massa. Het atoom zelf is elektrisch neutraal, maar zowel de kern als de elektronen zijn elektrisch geladen. Elektronen zijn negatief geladen, de kern is positief. De elektronen compenseren de elektrische lading van de kern. Doordat elektronen en kern tegengesteld geladen zijn, worden de elektronen in het atoom vastgehouden.
In een vaste stof zijn de atomen regelmatig gerangschikt en trillen daar op hun plaats. In een metaal verlaten de buitenste elektronen soms hun atoom en gaan door de vaste stof zwerven. Het atoom dat zonder buitenste elektron achterblijft, is positief geladen. Je noemt het atoom nu een (positief) **ion**. Soms komt zo'n **vrij elektron** in de buitenste baan van een ander atoom terecht, waardoor dat atoom juist een elektron 'te veel' krijgt (figuur 3). Dan is dat atoom negatief geladen en is het een negatief ion. Een losgeslagen elektron kan soms zelfs uit het rooster ontsnappen en de stof verlaten. Metalen met veel vrije elektronen heten **geleiders**.



▲ **figuur 3** de beweging van een vrij elektron in een metaalrooster

Als lading zich in een stof niet kan verplaatsen, wordt die stof een **isolator** genoemd. Bij een isolator kunnen de buitenste elektronen niet overstappen doordat ze krachtig aan hun atoom zijn gebonden, of doordat de atomen in die stof zich te ver van elkaar bevinden.

De grootheid lading

Het symbool van de elektrische grootheid lading is Q. De **lading Q** wordt uitgedrukt in de eenheid **coulomb** (C). De lading van een elektron is zeer klein: $-1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C. In Binas tabel 7A vind je deze natuurconstante terug als elementair ladingsquantum e.

Voorbeeldopgave 1

Een ballon wordt opgewreven met een doekje en krijgt een lading van –2,0 mC.
Bereken het aantal elektronen dat bij het wrijven op de ballon is aangebracht.

Uitwerking
Je weet dat de lading van een elektron $-1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C is (Binas tabel 7A).
De lading van de ballon is $-2{,}0 \cdot 10^{-3}$ C.
Het aantal aangebrachte elektronen is: $\dfrac{-2{,}0 \cdot 10^{-3}}{-1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 1{,}3 \cdot 10^{16}$

Onthoud!

- Er zijn twee soorten lading: positieve en negatieve lading.
- Gelijknamige ladingen stoten elkaar af, ongelijknamige ladingen trekken elkaar aan.
- In metalen kunnen sommige elektronen tussen de atomen door 'vrij' bewegen.
- Elektronen bezitten een elementaire lading: $e = -1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C.

Opdrachten

1 Lading
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg uit waarom elektronen, hoewel ze elkaar afstoten, toch bij elkaar in een atoom blijven.
b Wat is het verschil tussen een atoom en een ion?
c Bestaan er ongeladen voorwerpen? Licht je antwoord toe.

2 Glas opwrijven
Voorwerpen van verschillende materialen kunnen worden geladen als ze langs elkaar worden gewreven. Door met een zijden doek over een glazen plaat te wrijven, krijgt de plaat een positieve lading van 40 mC.
a Welke deeltjes zijn overgesprongen tijdens het wrijven?
b Bereken het aantal deeltjes dat is overgesprongen.

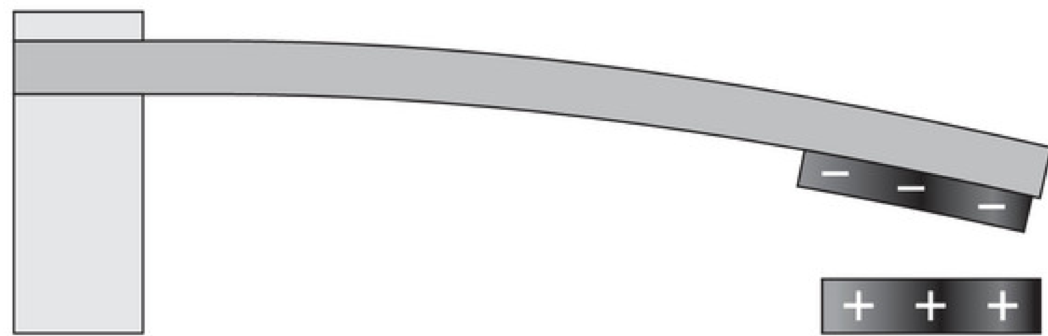
3 Elektroscoop
Een elektroscoop is een instrument waarmee je kunt aantonen dat een voorwerp geladen is. Het bestaat uit een metalen staaf, geïsoleerd opgehangen in een doorzichtig kastje (figuur 4). Aan de staaf is in het kastje een scharnierend strookje metaal bevestigd.



▲ **figuur 4** een geladen elektroscoop

a Leg uit waarom de elektroscoop een uitslag vertoont als je lading op de metalen staaf aanbrengt.
b Leg uit of je aan de elektroscoop in figuur 4 kunt zien of deze positief of negatief geladen is.

4 Geladen plaatjes
Een kunststofstrip is aan één kant ingeklemd. Op de strip zit een metalen plaatje dat negatief geladen is. Tegenover dit plaatje wordt een positief geladen plaatje geplaatst. De plaatjes trekken elkaar aan waardoor de strip buigt (figuur 5).



▲ **figuur 5** een gebogen strip

Leg uit waarom de strip terugschiet als de plaatjes elkaar raken.

naar: examen 2011-I

5 Haren overeind
Het meisje in figuur 1 houdt haar handen op een geladen vandegraaffgenerator. Er stromen elektronen van deze generator naar het meisje.
Leg uit waarom haar haren zo ver mogelijk uit elkaar gaan staan.

6 IJzeratoom
Het atoomnummer geeft aan hoeveel elementaire ladingen zich in de kern bevinden.
a Zoek in Binas tabel 99 het atoomnummer van ijzer op.

Het atoom bevat zowel positieve ladingen (in de kern) als negatieve ladingen (de elektronen).
b Bereken de lading van de kern van een ijzeratoom.
c Hoeveel elektronen bewegen er om de kern?
d Hoe groot is de lading van het ijzerion als twee buitenste elektronen uit het atoom zijn ontsnapt?

---

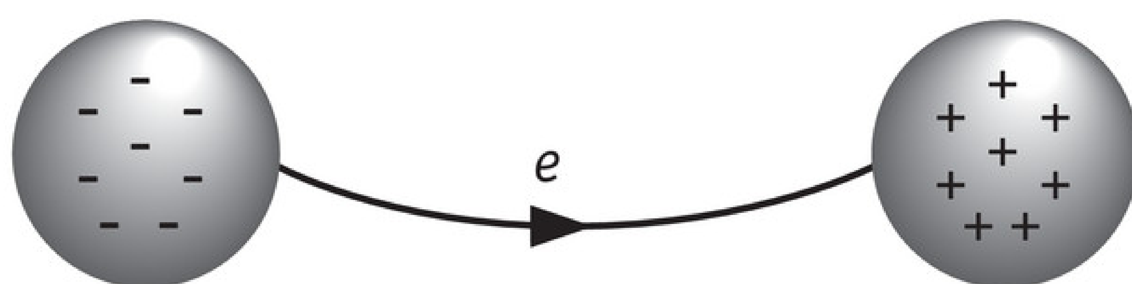
2 Stroom en spanning

In deze paragraaf leer je:
- het verschijnsel elektrische stroom uitleggen;
- de definitie van stroomsterkte kennen;
- hoe je een stroom- en spanningsmeter moet aansluiten.

Elektrische apparaten die zijn aangesloten op het elektriciteitsnet in Nederland, werken op een spanning van 230 volt. Zodra je een apparaat aanzet, bijvoorbeeld een waterkoker, gaat er een stroom door het apparaat lopen. Er bestaat een verband tussen spanning en stroomsterkte.

Richting van de stroom

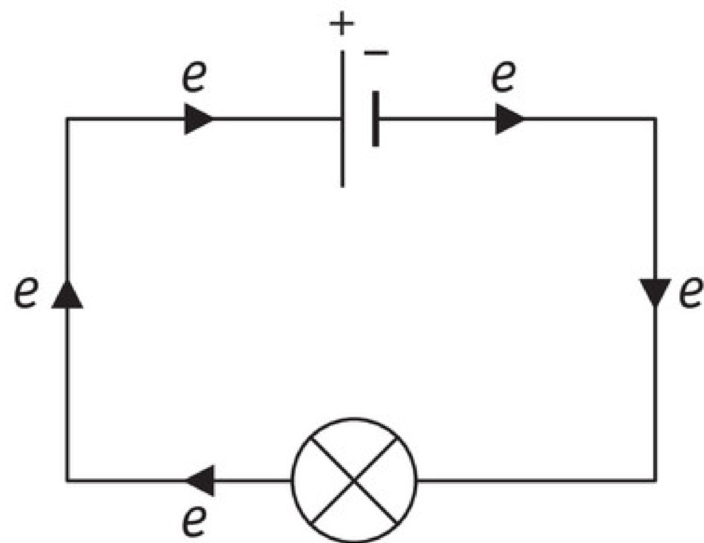
Als je een positief geladen bol via een metaaldraad verbindt met een negatief geladen bol, stromen er elektronen van de negatief geladen bol naar de positief geladen bol (figuur 6). Als beide bollen van tevoren even sterk geladen waren, stopt deze **elektronenstroom** als beide bollen neutraal zijn.



▲ **figuur 6** elektronenstroom van de negatief geladen bol naar de positief geladen bol

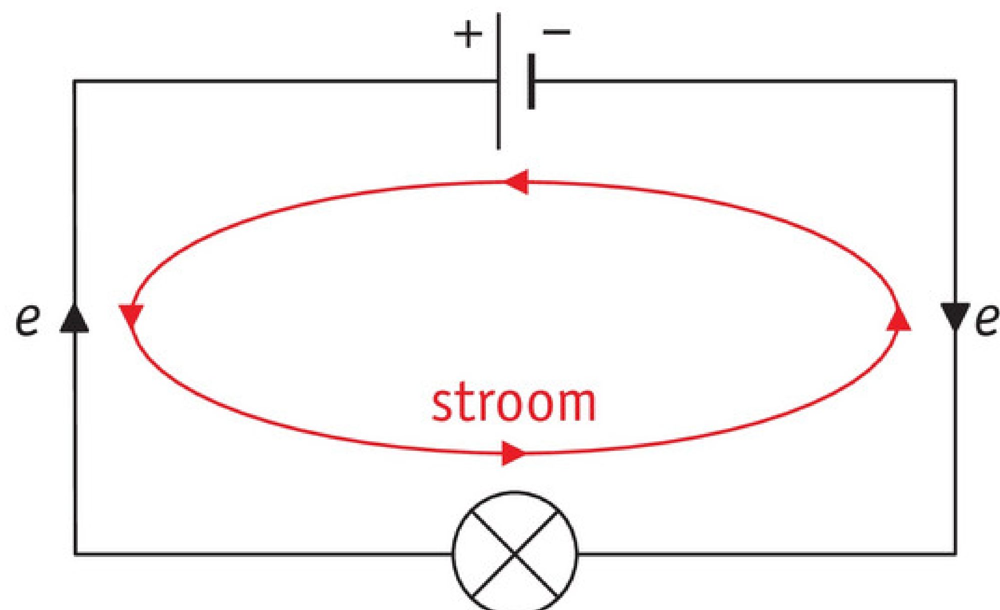
Als er een elektronenstroom loopt, is er sprake van een elektrische stroom. Elektrische stroom is eigenlijk niets anders dan lading die zich verplaatst.

In figuur 7 zie je een schakelschema van een spanningsbron waarop een lampje is aangesloten. Hier gebeurt hetzelfde als bij de bollen in figuur 6: er stromen elektronen van de minpool van de spanningsbron, via de draad, naar het lampje en dan via de tweede draad naar de pluspool. Het symbool van de spanningsbron bestaat uit twee verticale streepjes. De **minpool** is het korte dikke streepje en de **pluspool** het lange streepje.



▲ **figuur 7** elektronenstroom in een elektrische schakeling

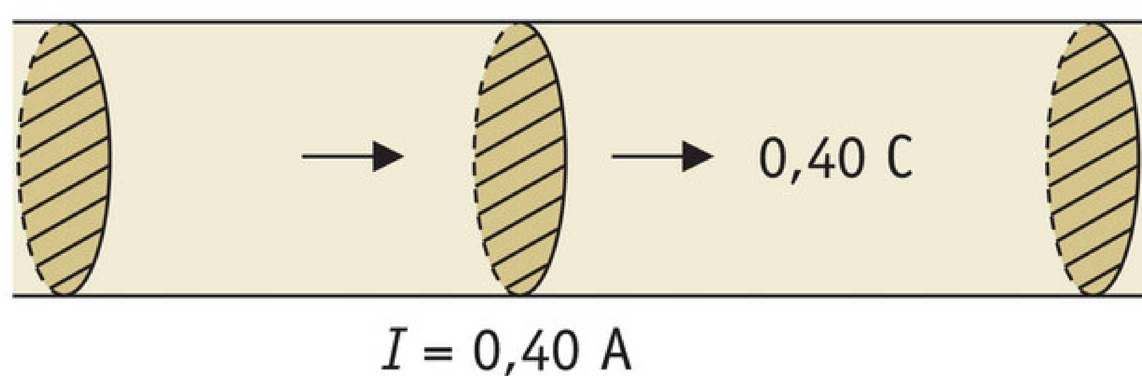
Men heeft lange tijd gedacht dat de deeltjes die zich verplaatsen, positief geladen zijn. Dat zou betekenen dat ze van de pluspool naar de minpool bewegen. De richting waarin de positieve lading zich zou bewegen, heeft men de **richting van de elektrische stroom** genoemd. Dat is niet meer veranderd toen men erachter kwam dat niet de positief maar juist de negatief geladen deeltjes zich verplaatsen. Vandaar de vreemde situatie dat je spreekt van een elektrische stroom die van de pluspool, via de aangesloten lampen en apparatuur, naar de minpool gaat, terwijl in werkelijkheid juist negatief geladen elektronen van de minpool naar de pluspool bewegen (figuur 8).



▲ **figuur 8** elektronenstroom (zwarte pijlen) en elektrische stroom (rode pijlen)

Grootte van de stroom

De grootte van de stroom, de **stroomsterkte *I***, is de hoeveelheid lading die per seconde door een dwarsdoorsnede van een draad stroomt. In figuur 9 is een draad getekend waarvan de dwarsdoorsnede is gearceerd. Als 0,40 C lading deze dwarsdoorsnede passeert in 1,0 s, is de stroomsterkte 0,40 C s^{-1}.



▲ **figuur 9** stroom door een draad

Je kunt dit met een formule uitrekenen:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Hierin is:
- I de stroomsterkte in coulomb per seconde ($C\ s^{-1}$); deze eenheid wordt ampère (A) genoemd;
- Q de lading die passeert in coulomb (C);
- t de tijdsduur waarin die lading passeert in seconde (s).

In de formule wordt Q altijd positief ingevuld.

Voorbeeldopgave 2

Tijdens een onweersbui slaat de bliksem in op een bliksemafleider. Daardoor loopt er gedurende 0,035 s een lading van 6,0 kC door de bliksemafleider.
Bereken de stroomsterkte in de bliksemafleider.

Uitwerking
Gegevens:
$t = 0{,}035$ s
$Q = 6{,}0$ kC $= 6{,}0 \cdot 10^3$ C

Formule: $I = \frac{Q}{t}$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{6{,}0 \cdot 10^3}{0{,}035} = 1{,}7 \cdot 10^5 \text{ A}$$

Voorbeeldopgave 3

Er loopt 3,0 min lang een stroom van 20 mA door een draad.
Bereken hoeveel elektronen in die tijd een dwarsdoorsnede van de draad zijn gepasseerd.

Uitwerking
Gegevens:
$t = 3{,}0$ min $= 3{,}0 \times 60 = 180$ s
$I = 20$ mA $= 20 \cdot 10^{-3}$ A

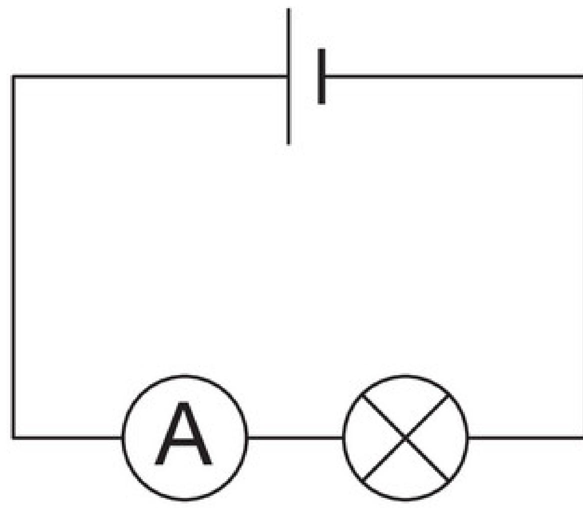
Formule: $I = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = I \cdot t$

$Q = I \cdot t = 20 \cdot 10^{-3} \times 180 = 3{,}6$ C
De grootte van de lading van een elektron is $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C (Binas tabel 7A).

In die tijd zijn er dus $\frac{3{,}6}{1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 2{,}3 \cdot 10^{19}$ elektronen een dwarsdoorsnede van de draad gepasseerd.

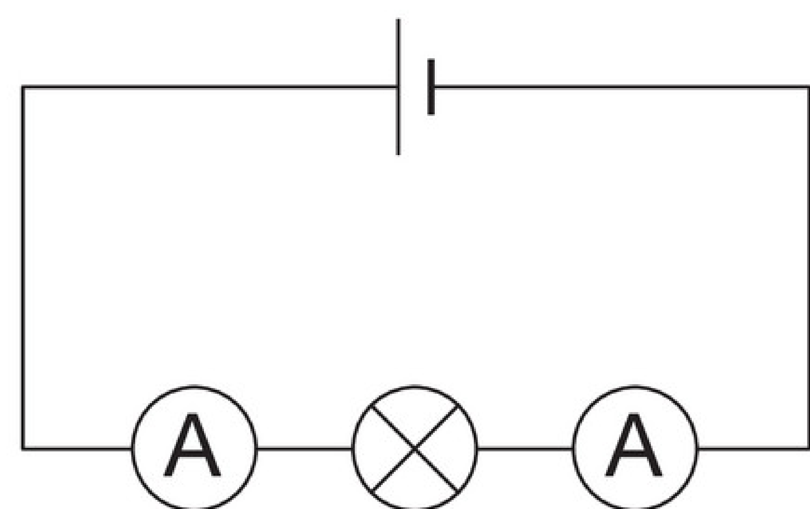
Stroomsterkte meten

De stroomsterkte wordt gemeten met een **stroommeter** die ook wel **ampèremeter** wordt genoemd. Als je de stroomsterkte door een lampje wilt meten, moet de stroom ook door de stroommeter lopen. Je moet de stroommeter dus **in serie** zetten met het lampje (figuur 10).



▲ **figuur 10** Zo meet je de stroomsterkte in de schakeling.

Het maakt daarbij niet uit of de stroommeter voor of na het lampje zit. De twee stroommeters in figuur 11 meten exact dezelfde stroomsterkte. Een lampje verbruikt namelijk geen stroom. Dat houdt in dat er geen elektronen in het lampje achterblijven. In het lampje wordt wel energie omgezet.



▲ **figuur 11** De stroomsterkte is voor en na het lampje even groot.

Er kan in een schakeling pas een stroom lopen als er aan de volgende voorwaarden is voldaan:

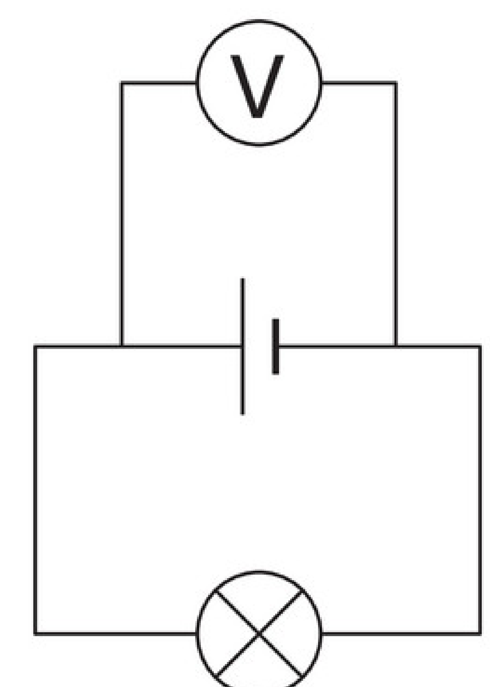
- In de schakeling moet een spanningsbron zijn opgenomen. Dat kan een batterij, accu, dynamo, zonnecel of stopcontact zijn.
- De stroomkring moet gesloten zijn. Er mag dus geen ‘gat’ in de stroomkring zitten.
- De stroomkring moet zijn opgebouwd uit geleidende materialen.

Spanning

Een stroom loopt niet vanzelf door de draden en de aangesloten apparatuur. De elektronen worden rondgepompt door de spanningsbron. Je mag de spanning van een spanningsbron opvatten als de druk waarmee de stroom wordt rondgepompt. Als je in een stroomkring een spanningsbron met een hogere spanning aansluit, wordt de stroomsterkte groter. Officieel is de spanning van een spanningsbron de hoeveelheid energie die één coulomb lading meekrijgt. Deze energie wordt in de schakeling afgegeven aan de lampjes of de andere aangesloten apparatuur. De grootheid **spanning** wordt aangegeven met het symbool U. De eenheid van spanning is **volt**, symbool V.

Spanning meten

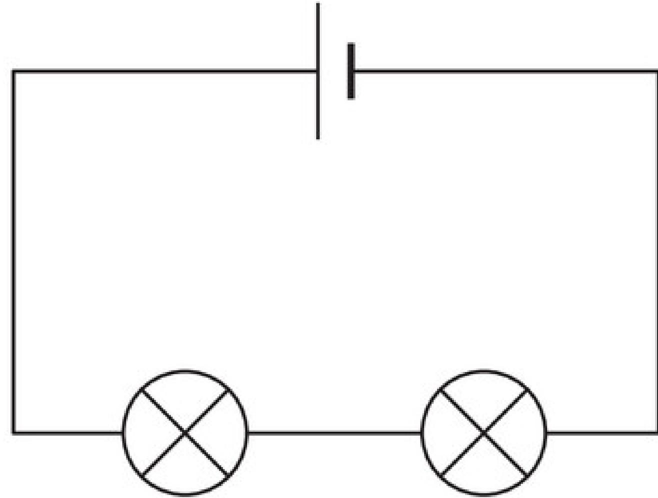
De spanning wordt gemeten met een **spanningsmeter** die ook wel **voltmeter** wordt genoemd. Als je de spanning van een spanningsbron wilt meten, moet je de spanningsmeter **parallel** schakelen aan deze spanningsbron. Zo kan de spanningsmeter het verschil van de energie voor en na het lampje bepalen. De spanningsmeter staat dus niet *in* de stroomkring (figuur 12).



▶ **figuur 12** Zo meet je de spanning van een spanningsbron.

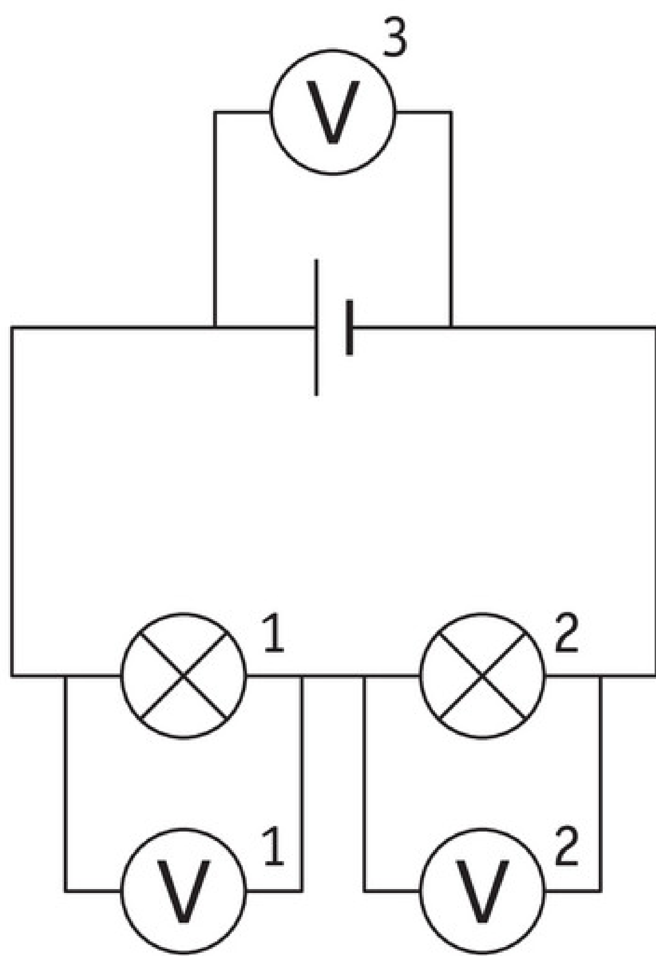
Spanning over een lampje

Stel dat je de schakeling van figuur 13 hebt gemaakt. Daarin zijn twee precies dezelfde lampjes in serie geschakeld. De spanningsbron geeft een spanning af van 6,0 V. Dat betekent dat deze spanningsbron 6,0 J energie per coulomb meegeeft aan de stroom. Deze stroom geeft in allebei de lampjes elk 3,0 J energie per coulomb af. Dat betekent dat de spanning over elk lampje 3,0 V is. Je kunt dus niet alleen de spanning van een spanningsbron meten, maar ook de spanning over een lampje.



▲ **figuur 13** twee lampjes in serie

In figuur 14 zie je dat in de schakeling van figuur 13 drie spanningsmeters zijn opgenomen. Spanningsmeter 1 meet de spanning U_1 over lampje 1. Spanningsmeter 2 meet de spanning U_2 over lampje 2. Spanningsmeter 3 meet de spanning U_{tot} van de spanningsbron. Dat geeft: U_{tot} = 6,0 V, U_1 = 3,0 V en U_2 = 3,0 V.



▲ **figuur 14** spanningen meten bij twee in serie staande lampjes

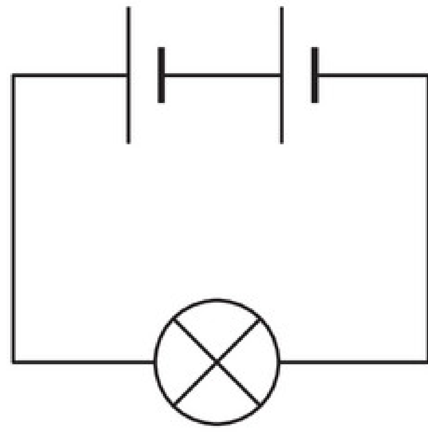
Een spanningsmeter laat vrijwel geen stroom door. Als je dus een spanningsmeter parallel aan een lampje schakelt, verandert de stroomsterkte door dat lampje niet. Je zegt dan dat er *spanning staat over* een lampje en dat er *stroom loopt door* een lampje.
Tegenwoordig worden bijna geen stroommeters of spanningsmeters meer verkocht. Er zijn namelijk meters die zowel stroomsterkte als spanning kunnen meten. Zo'n **multimeter** kan zelfs nog meer meten (figuur 15). Op de multimeter zit een knop waarmee je kunt instellen wat je wilt meten.



▲ **figuur 15** een multimeter

Spanningsbronnen schakelen

In een zaklamp stop je twee batterijen op de juiste wijze achter elkaar. Elke batterij heeft een spanning van 1,5 V. Daardoor is de totale spanning over het lampje van de zaklamp 2 × 1,5 = 3,0 V. Je hebt nu twee spanningsbronnen in serie geschakeld. In figuur 16 kun je zien hoe je dat schematisch tekent.



▲ **figuur 16** twee batterijen in serie

Onthoud!

- De elektrische stroom loopt van de pluspool naar de minpool van de spanningsbron. In werkelijkheid bewegen er juist elektronen van de min- naar de pluspool.
- De stroomsterkte is de hoeveelheid lading die per seconde door een dwarsdoorsnede van een draad stroomt. De stroomsterkte kun je uitrekenen met de formule $I = \frac{Q}{t}$
- De stroomsterkte wordt uitgedrukt in ampère (A).
- De stroomsterkte I in een draad wordt gemeten met een stroommeter die in serie met de draad is geschakeld.
- De spanning U van een spanningsbron geeft de hoeveelheid energie aan die één coulomb lading meekrijgt. De spanning wordt uitgedrukt in volt (V).
- De spanning wordt gemeten met een spanningsmeter die parallel wordt geschakeld aan het deel van de schakeling waarover je de spanning wilt meten.

Opdrachten

7 Stroomsterkte
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg in eigen woorden uit wat stroomsterkte is.
b Met welke formule bereken je de stroomsterkte?
c In welke eenheden moeten de grootheden in die formule worden uitgedrukt?

8 Omrekenen
Neem over en reken om.
a 20 mA = … A
b 50 kV = … V
c 140 μA = … A
d 230 V = … kV
e 0,15 A = … mA

9 Foute uitspraken
Verbeter de volgende uitspraken.
a De wasmachine staat onder stroom.
b Er gaat 12 volt door het lampje.
c Pas op, want je kunt een stroomstoot van 230 V krijgen.

10 Stromende lading

Om te onderzoeken of over een stopcontact spanning staat, gebruikt Ank een spanningzoeker. Door haar duim tegen de achterkant van de spanningzoeker te drukken, loopt er een stroom van 0,095 mA door haar heen.

a Bereken hoeveel lading in 1,0 min door Ank stroomt.

b Bereken hoeveel elektronen er in 1,0 min door Ank stromen.

11 Batterijen schakelen

Een ledspotje brandt op een spanning van 12 V. Daarvoor moeten batterijen van 1,5 V zorgen.

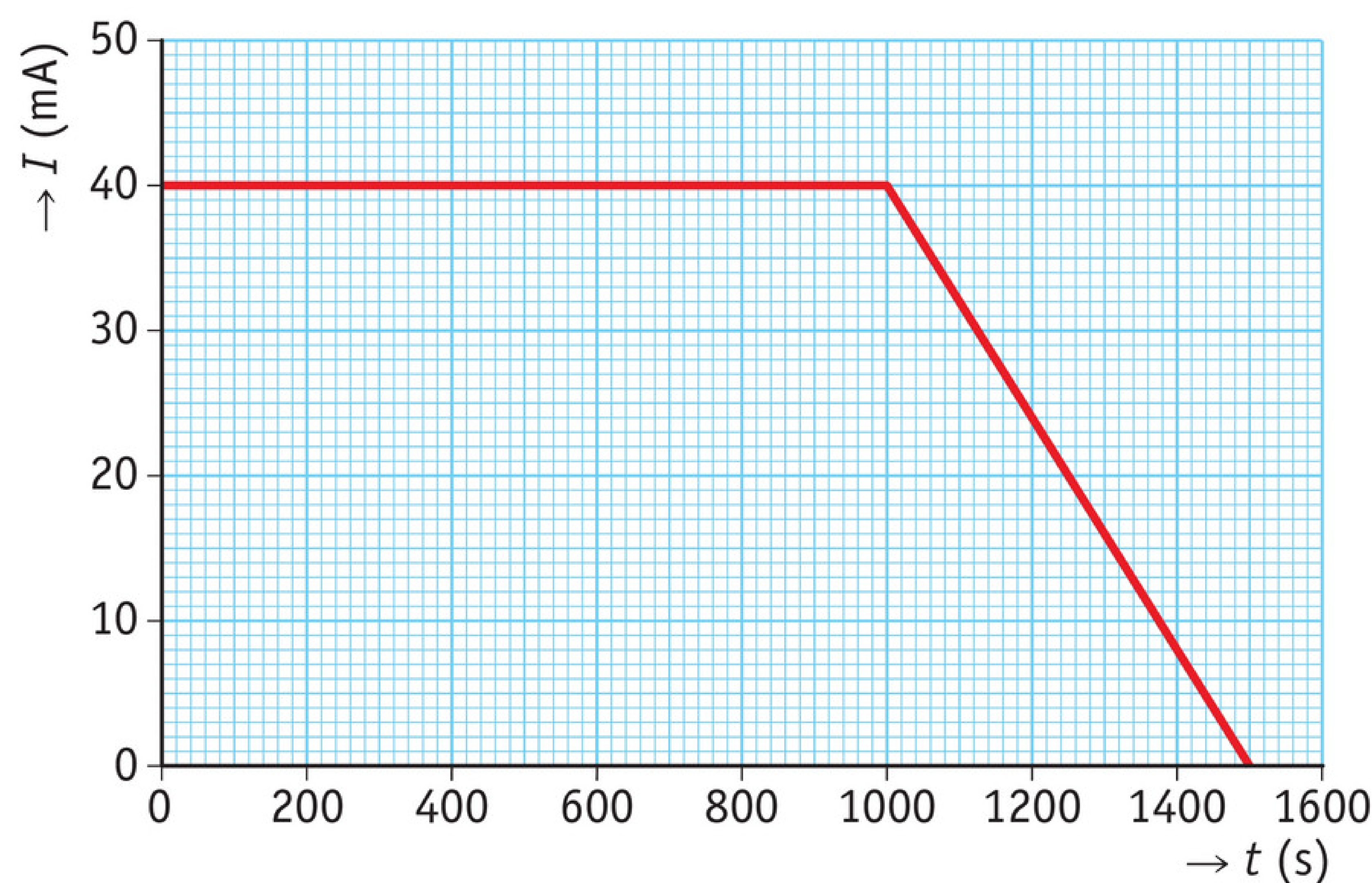
a Hoeveel van deze batterijen heb je nodig om het spotje te laten werken?

b Teken schematisch hoe deze batterijen moeten worden geschakeld.

c Leg uit hoeveel spanning het ledspotje krijgt als je een batterij per ongeluk verkeerd om in de schakeling opneemt.

12 Lading door lampje

Een batterij levert een constante stroom aan een zaklamp. Maar als de batterij bijna leeg is, wordt de stroomsterkte langzaam kleiner. In figuur 17 zie je de stroomsterkte tot de batterij helemaal leeg is.



▲ **figuur 17** het (I,t)-diagram van een batterij tot deze leeg is

a Bepaal de hoeveelheid lading die de eerste 1000 s door de lamp is gestroomd.

b Bepaal de hoeveelheid lading die de laatste 500 s door de lamp is gestroomd.

c Bepaal de gemiddelde stroomsterkte in mA in de laatste 1500 s.

+13 Oplaadbare batterijen

Op een oplaadbare batterij staat, behalve de spanning die de batterij levert, vaak ook de zogenoemde ‘capaciteit’ vermeld. Met de capaciteit wordt het product bedoeld van de stroomsterkte die van de batterij gevraagd wordt en de tijdsduur waarin de batterij deze stroom kan leveren.

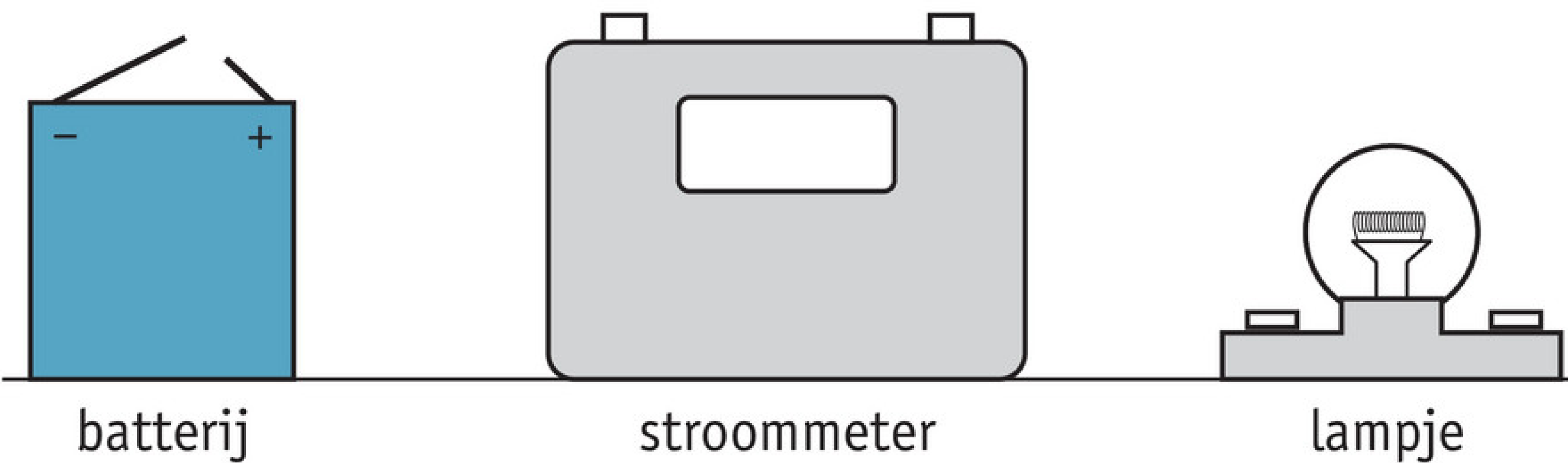
Een oplaadbare batterij heeft een capaciteit van 2,0 Ah. Dat wil zeggen dat een ‘volle’ batterij gedurende 10 uur een stroomsterkte van 0,20 A kan leveren of gedurende 5 uur een stroomsterkte van 0,40 A, enzovoort. Na het afgeven van deze 2,0 Ah is de batterij leeg.

De batterij wordt geplaatst in een zaklamp en is na 1,5 uur gebruiken leeg.

a Bereken de geleverde stroomsterkte gedurende het gebruik.

b Bereken hoeveel elektronen er in 1,5 uur door het lampje gaan.

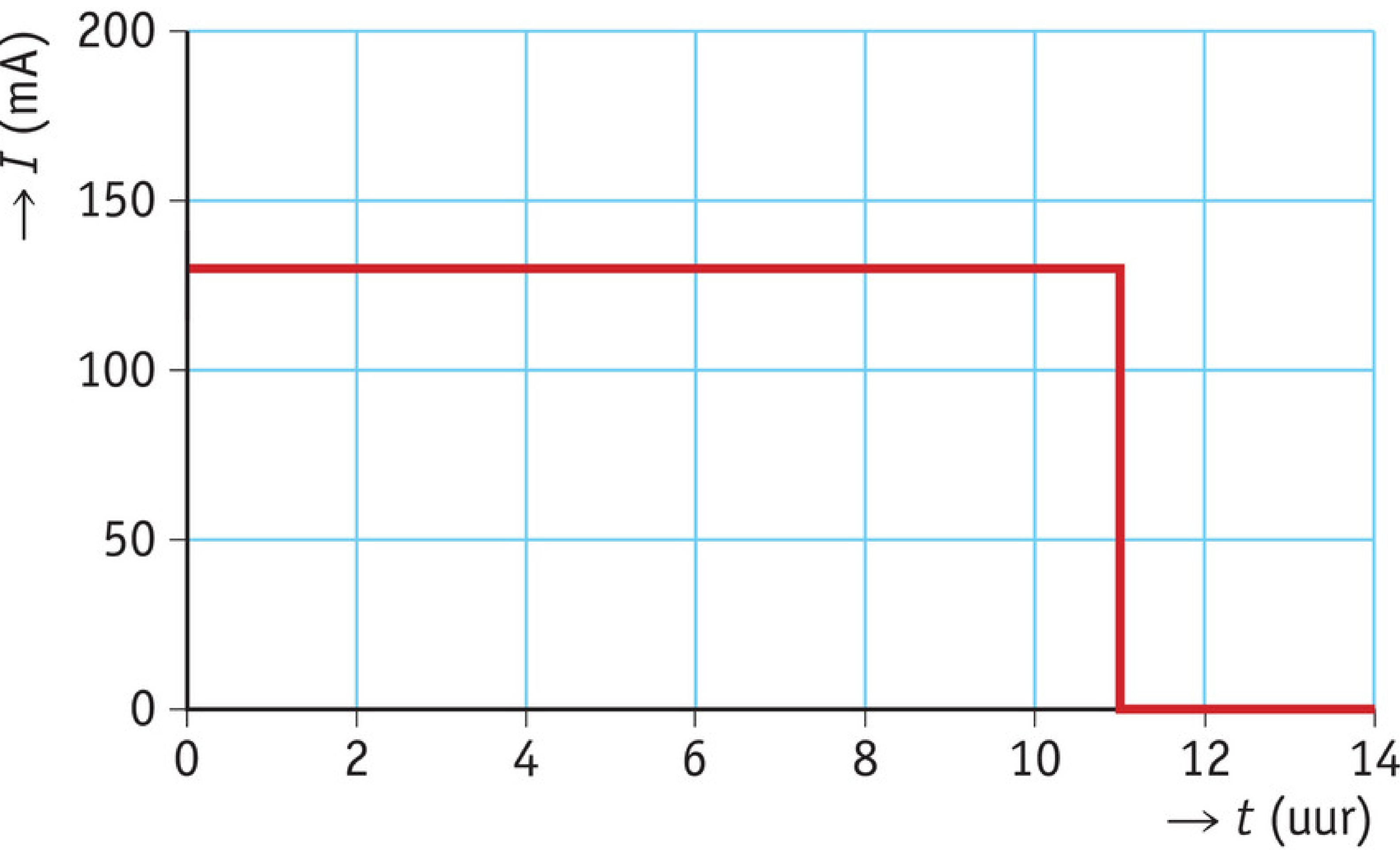
Er zijn ook oplaadbare batterijen waarop geen capaciteit is vermeld. Herman wil de capaciteit van zo'n batterij bepalen. Hij bouwt daarvoor een schakeling met een volle batterij, een stroommeter en een lampje (figuur 18).



▲ **figuur 18** batterij, stroommeter en lampje

c Neem figuur 18 in elektrotechnische symbolen over en teken alle noodzakelijke verbindingsdraden.

In figuur 19 zie je hoelang de batterij de gevraagde stroomsterkte kan leveren.



▲ **figuur 19** het (I,t)-diagram van een batterij

d Bepaal de capaciteit van deze batterij.

e Herman onderzoekt met een model (figuur 20) het aantal elektronen dat tijdens het branden van het lampje door de schakeling stroomt. Het model is nog niet af.

modelregels	startwaarden en constanten

`t = t + dt`
`dQ = I*dt`
`Q = Q + dQ`
`aantal = ...`
`als t > 39600 dan stop eindals`
	`t = 0`
	`dt = 1,0`
	`I = 0,130`
	`e = 1,60*10^−19`

▲ **figuur 20** het model van Herman

Vul het model op het stippellijntje aan, zodat het model het aantal elektronen dat door de schakeling stroomt zal berekenen.

f Door het toevoegen van de laatste modelregel in figuur 20 stopt het model als de batterij leeg is.
Leg de laatste modelregel uit met behulp van figuur 19.

3 Weerstand

In deze paragraaf leer je:
- de formule en de wet van Ohm toepassen;
- rekenen met weerstand;
- rekenen met geleidbaarheid.

Een draad of een apparaat laat elektrische stroom gemakkelijk of minder gemakkelijk door. Dit hangt af van de eigenschappen van het apparaat of de draad. Meestal zijn stroomdraden gemaakt van koper, met daaromheen een omhulsel van kunststof. Het koper laat stroom gemakkelijk door, maar de kunststof laat geen stroom door. Kunststof is een isolator.

De grootheid weerstand

Een voorwerp waar een stroom doorheen gaat, noem je een **elektrische component**. Dat kan een stuk draad zijn, een lamp, een diode, een transistor, enzovoort. De stroomsterkte is niet alleen afhankelijk van de spanning. De bewegende geladen deeltjes, de elektronen, worden bij verplaatsing in de vaste stof min of meer gehinderd door de bouw van de stof, eventuele verontreinigingen in de stof en de beweging van de atomen ten gevolge van de temperatuur van de stof.

De grootheid **weerstand** geeft aan hoeveel hinder de stroom ondervindt. Stoffen met grote weerstand noem je **isolatoren**; stoffen met kleine weerstand heten **geleiders**. Weerstand wordt aangeduid met het symbool R. Die letter komt van het Engelse woord voor weerstand: *resistance*.

De weerstand is de spanning die nodig is om een stroom van één ampère door de component te laten lopen. Daarmee is het verband tussen spanning U, stroomsterkte I en weerstand R vastgelegd:

$$R = \frac{U}{I}$$

Hierin is:
- R de weerstand in volt per ampère (V A^{-1}); deze eenheid wordt ohm (Ω) genoemd;
- U de spanning in volt (V);
- I de stroomsterkte in ampère (A).

Dit verband wordt de **formule van Ohm** genoemd. Je kunt de formule van Ohm ook schrijven als $U = I \cdot R$.

Voorbeeldopgave 4

Een lamp brandt op een spanning van 230 V. De stroomsterkte door de lamp is 35 mA. Bereken de weerstand van de lamp bij een spanning van 230 V.

Uitwerking

Gegevens:

$U = 230$ V

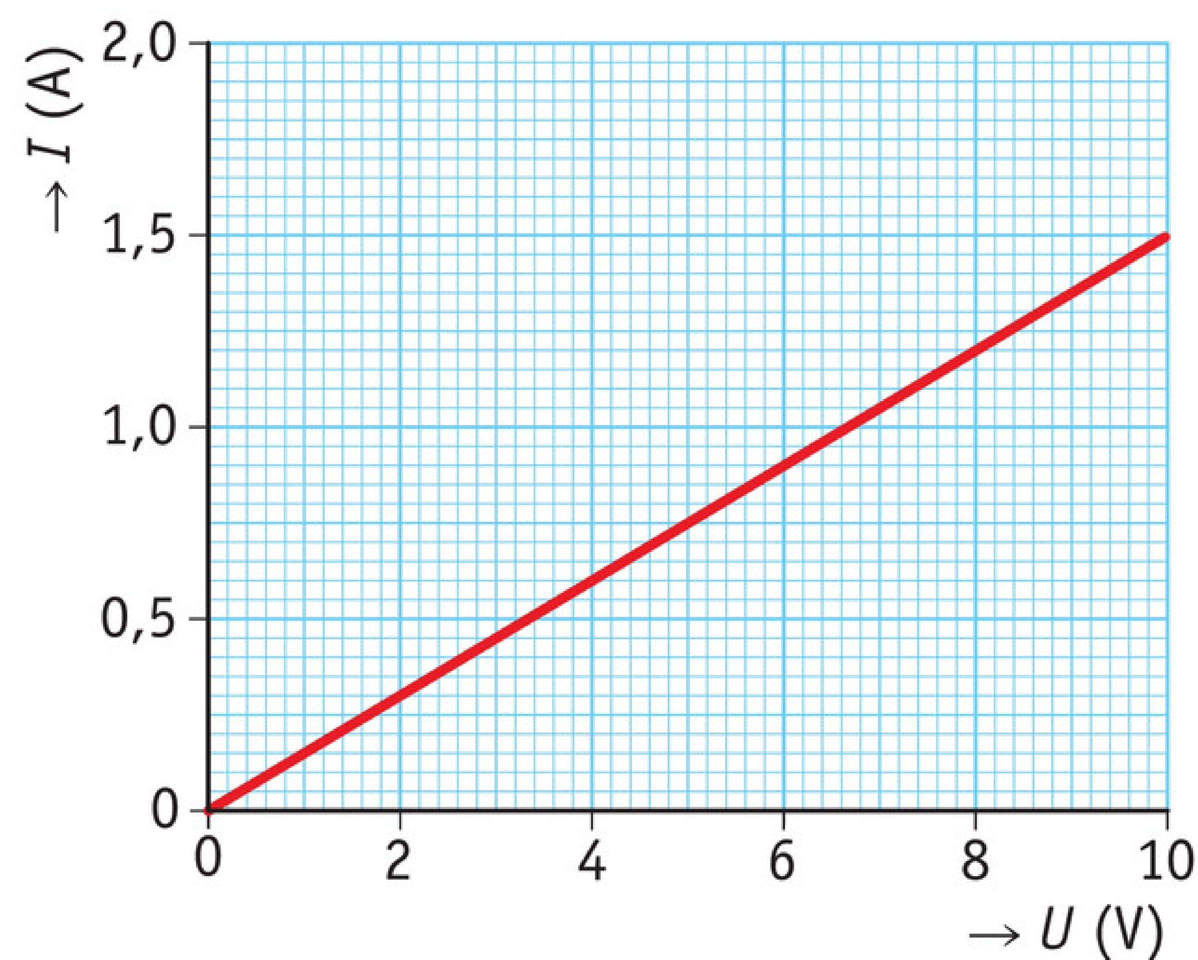
$I = 35$ mA $= 0{,}035$ A

Formule: $R = \dfrac{U}{I}$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0{,}035} = 6{,}6 \cdot 10^3\ \Omega$$

Wet van Ohm

Als je de spanning over een component verandert, zal (meestal) ook de stroomsterkte veranderen. Het verband tussen spanning en stroomsterkte kan zichtbaar worden gemaakt in een (I,U)-diagram (figuur 21).



▲ **figuur 21** het (I,U)-diagram van een stuk constantaandraad

In figuur 21 zie je een rechte lijn door de oorsprong. Dat betekent dat spanning en stroomsterkte recht evenredig zijn met elkaar. Recht evenredigheid betekent dat:

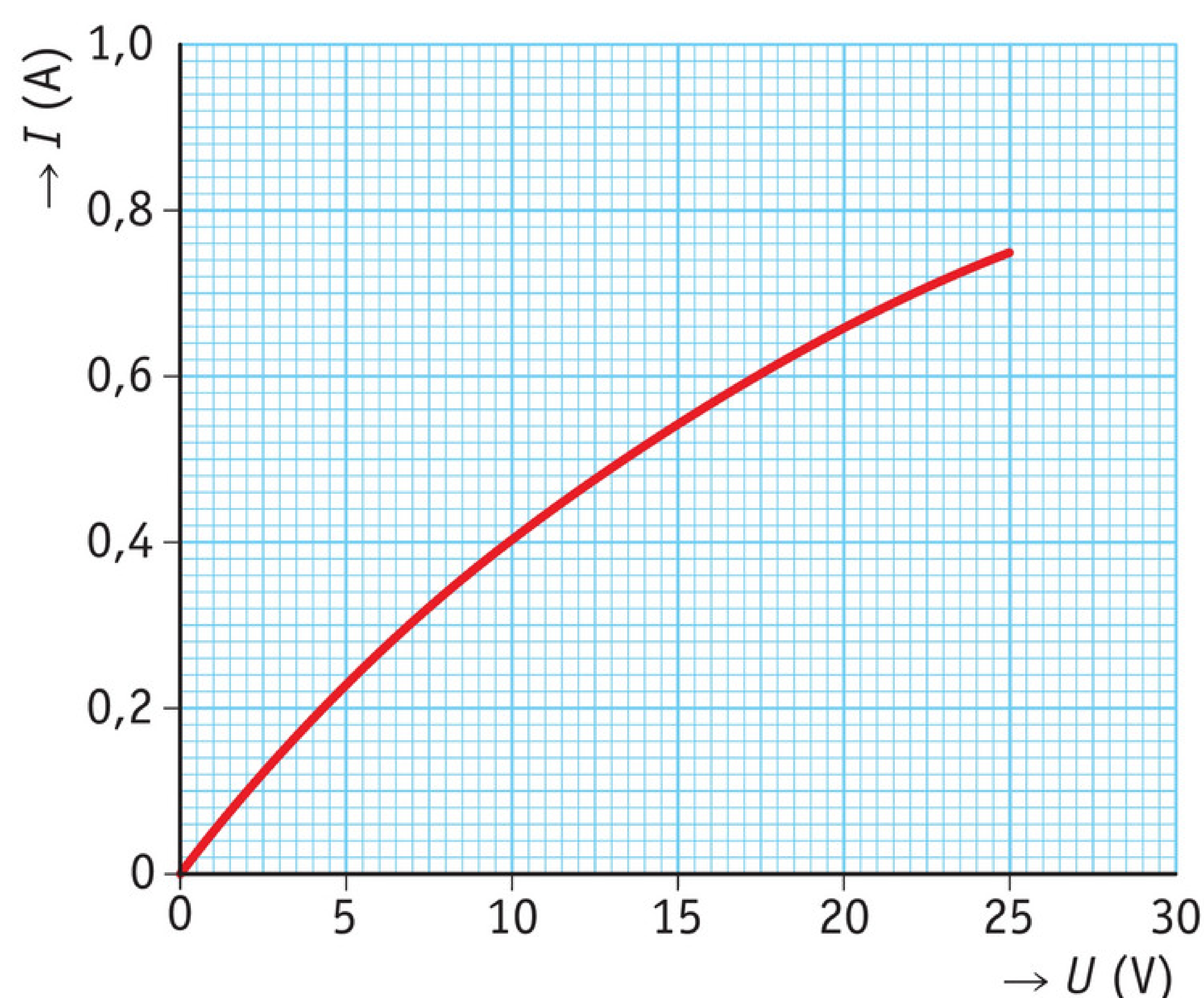
- de grafiek een rechte lijn door de oorsprong is;
- als de ene grootheid $n\times$ zo groot wordt, de andere grootheid ook $n\times$ zo groot wordt;
- als je beide grootheden op elkaar deelt, er steeds dezelfde waarde uit komt.

Een diagram dat bij een bepaald soort component hoort, wordt een **karakteristiek** genoemd. Figuur 21 is dus de (I,U)-karakteristiek van een constantaandraad.
Een component waarbij de spanning recht evenredig is met de stroomsterkte, wordt een **ohmse weerstand** genoemd. De helling of steilheid van de grafiek blijft gelijk, dus de weerstand is

constant. Als je de formule van Ohm toepast, is de uitkomst bij elke spanning gelijk:

$R = \dfrac{U}{I}$ heeft steeds dezelfde uitkomst.

Als dat het geval is, noem je de formule van Ohm: de **wet van Ohm**.
Bij een stuk ijzerdraad ziet het verband tussen spanning en stroomsterkte eruit zoals in figuur 22. Je ziet dat de helling of steilheid van de grafiek nu niet constant is. De weerstand verandert bij toenemende spanning. Dit is dus geen ohmse weerstand.



▲ **figuur 22** het (I,U)-diagram van een stuk ijzerdraad

Voorbeeldopgave 5

Gebruik figuur 22.

a Bepaal de weerstand bij 10 V, 20 V en 25 V.
b Waaruit blijkt dat je niet met een ohmse weerstand te maken hebt?
c Bepaal de grootte van de weerstand bij 0 V.

Uitwerking

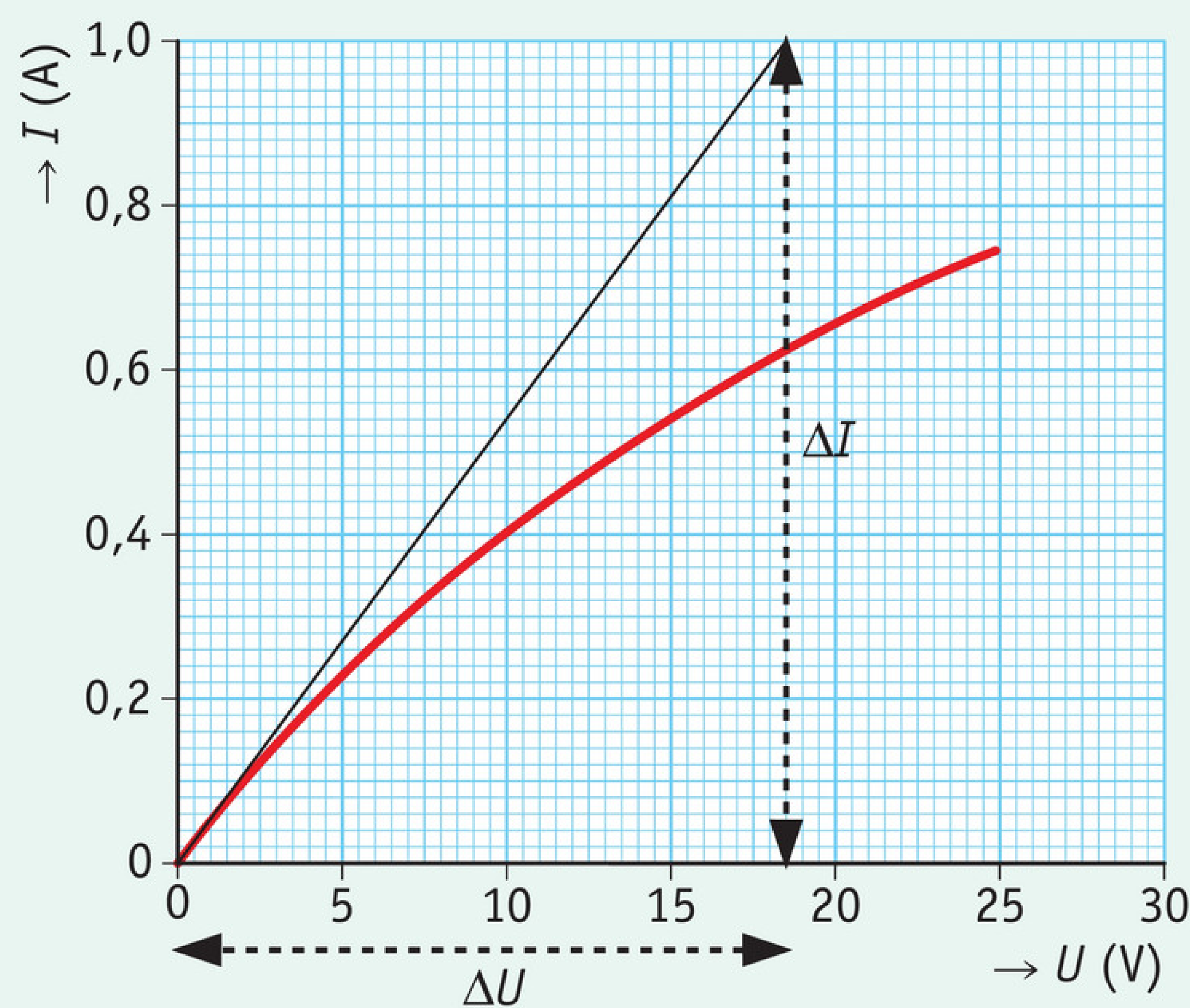
a Bij 10 V: $R_{10\,V} = \frac{U}{I} = \frac{10}{0,40} = 25\ \Omega$

Bij 20 V: $R_{20\,V} = \frac{U}{I} = \frac{20}{0,66} = 30\ \Omega$

Bij 25 V: $R_{25\,V} = \frac{U}{I} = \frac{25}{0,75} = 33\ \Omega$

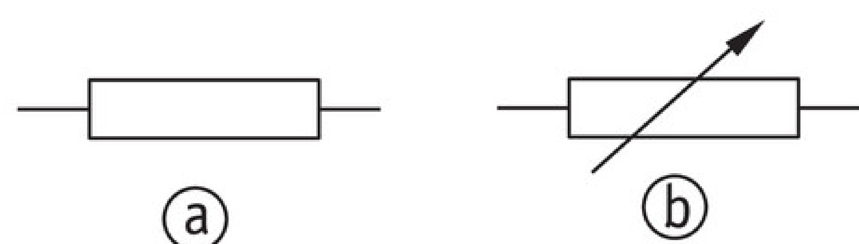
b Bij toenemende spanning (en stroomsterkte) neemt de weerstand toe. Daarom kan het geen ohmse weerstand zijn. Je ziet het ook aan de grafiek. Het is geen rechte lijn door de oorsprong.

c Als je $R = \frac{U}{I}$ invult voor de spanning 0 V, krijg je $\frac{0}{0}$, en dat kan niet. Je moet dan heel dicht bij 0 kijken. Dat is lastig. Je kunt dit oplossen door te kijken naar de helling of steilheid van de raaklijn bij U = 0 V (figuur 23). Dan geldt: $R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{18,5}{1,0} = 19\ \Omega$ (denk aan significantie).



▲ **figuur 23** bepaling van de weerstand bij U = 0 V

In een schema van een elektrische schakeling wordt een weerstand met een elektrotechnisch symbool weergegeven (figuur 24a). Als het een instelbare weerstand is, dus variabel, is het symbool zoals in figuur 24b weergegeven.



▲ **figuur 24** symbolen voor weerstand (a) en variabele weerstand (b)

Geleidbaarheid

In plaats van te kijken naar de weerstand, ofwel de mate waarin de stroom wordt gehinderd, kun je ook kijken naar de mate waarin de stroom wordt doorgelaten. Dan spreek je over de **geleidbaarheid *G***. Geleidbaarheid is dus het omgekeerde van weerstand:

$$G = \frac{1}{R}$$

Hierin is:
- G de geleidbaarheid in $\frac{1}{\Omega}$;
- R de weerstand in ohm (Ω).

De eenheid van geleidbaarheid is $\frac{1}{\Omega} = \Omega^{-1}$ en wordt siemens (S) genoemd.

Nu kun je $U = I \cdot R$ ook schrijven als:

$$U = \frac{I}{G}$$

Hierin is:
- U de spanning in volt (V);
- I de stroomsterkte in ampère (A);
- G de geleidbaarheid in siemens (S).

▶ **EXPERIMENT 1** De (I,U)-karakteristiek van een weerstand en een gloeilampje

Onthoud!

- Weerstand R is een grootheid die aangeeft in welke mate de stroom wordt gehinderd.
- De grootte van de weerstand bereken je met de *formule* van Ohm: $R = \frac{U}{I}$
- De eenheid van weerstand is Ω (ohm), waarbij $1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$
- Een weerstand heet ohms als het verband tussen U en I recht evenredig is. Bij een ohmse weerstand is $\frac{U}{I} = R =$ constant. Dit is de *wet* van Ohm.
- Geleidbaarheid G is de grootheid die aangeeft in welke mate de stroom wordt doorgelaten: $G = \frac{1}{R}$

  De eenheid van G is S (siemens).

Opdrachten

14 Weerstand
Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat is het verschil tussen een ohmse en een niet-ohmse weerstand?
- **b** Geef de formule van Ohm. Geef ook aan in welke eenheden de grootheden in deze formule moeten worden uitgedrukt.
- **c** Leg het verschil uit tussen de formule van Ohm en de wet van Ohm.
- **d** Wat is de eenheid van geleidbaarheid G?

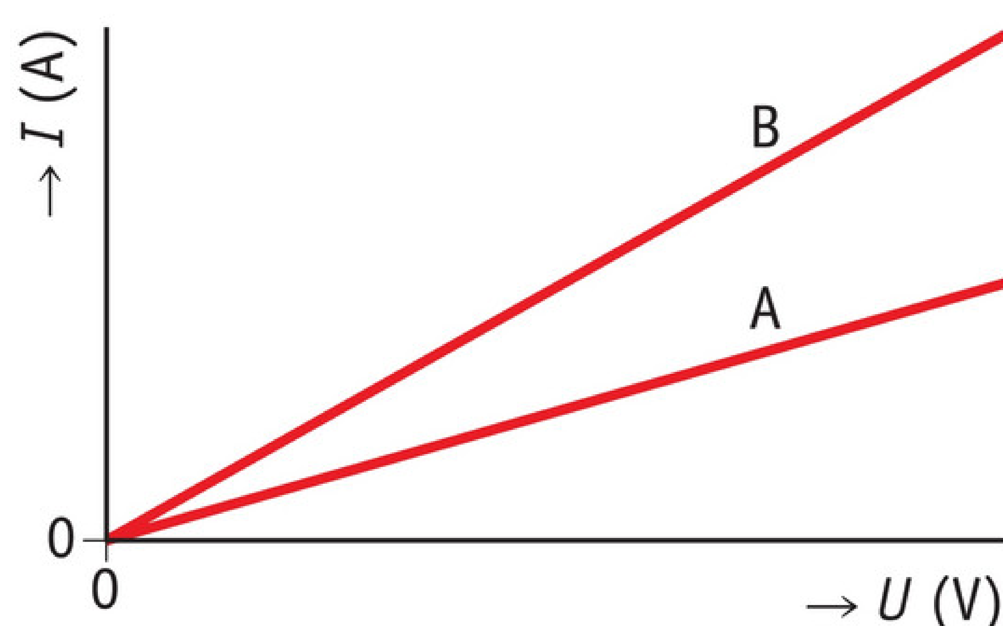
15 Geleidbaarheid
Bereken de geleidbaarheid van de lamp uit voorbeeldopgave 4 bij 230 V.

16 Ohmse weerstand [1]
Door een ohmse weerstand loopt bij een spanning van 12 V een stroomsterkte van 0,84 A. Bereken de spanning die nodig is om een stroomsterkte van 1,5 A door de weerstand te laten lopen.

17 Lampje
Een lampje heeft bij een stroomsterkte van 300 mA een geleidbaarheid G = 0,083 S. Bereken de spanning die over het lampje staat.

18 Schakeling
Emiel sluit een weerstand aan op een spanningsbron van 4,5 V. Hij meet de spanning over de weerstand en de stroomsterkte door de weerstand. De stroomsterkte blijkt 1,2 A te zijn.
a Teken het schema van deze schakeling.
b Bereken de geleidbaarheid van deze weerstand.

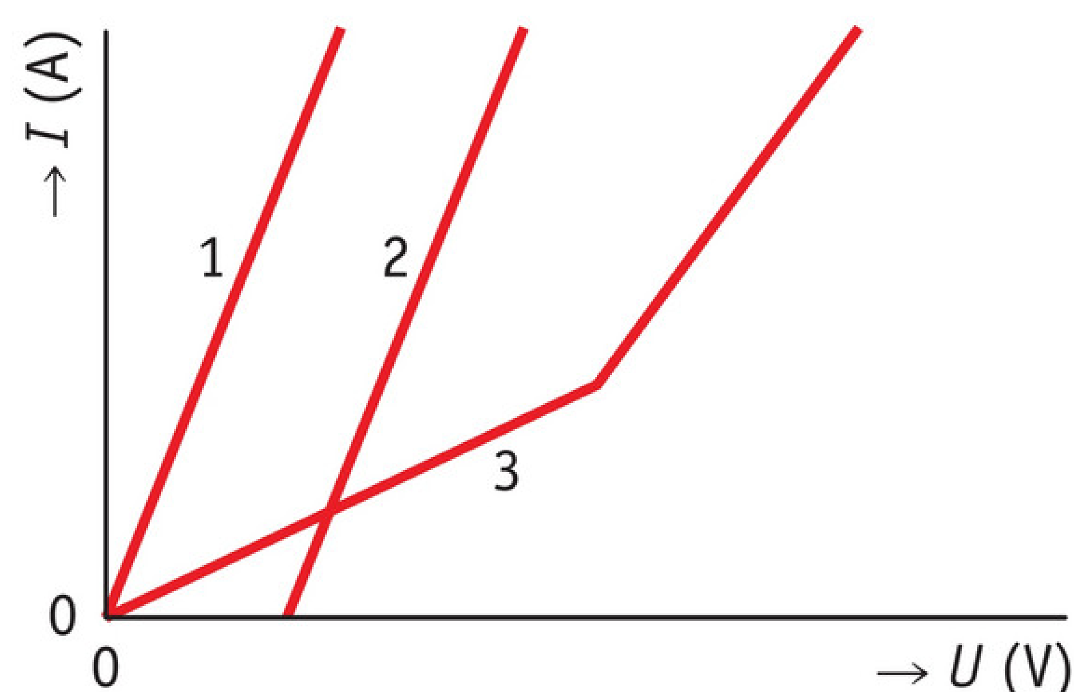
19 Ohmse weerstand [2]
Van twee ohmse weerstanden is in figuur 25 het (I,U)-diagram afgebeeld.



▲ **figuur 25** het (I,U)-diagram van twee ohmse weerstanden

a Leg uit welke component, A of B, de grootste weerstand heeft.
b Schets in een diagram het verband tussen weerstand en spanning, het (R,U)-diagram, van beide componenten.
c Schets in een diagram het verband tussen geleidbaarheid en spanning, het (G,U)-diagram, van beide componenten.

20 (I,U)-grafieken
In het diagram van figuur 26 zijn van drie elektrische componenten de (I,U)-grafieken geschetst.



▲ **figuur 26** het (I,U)-diagram van drie componenten

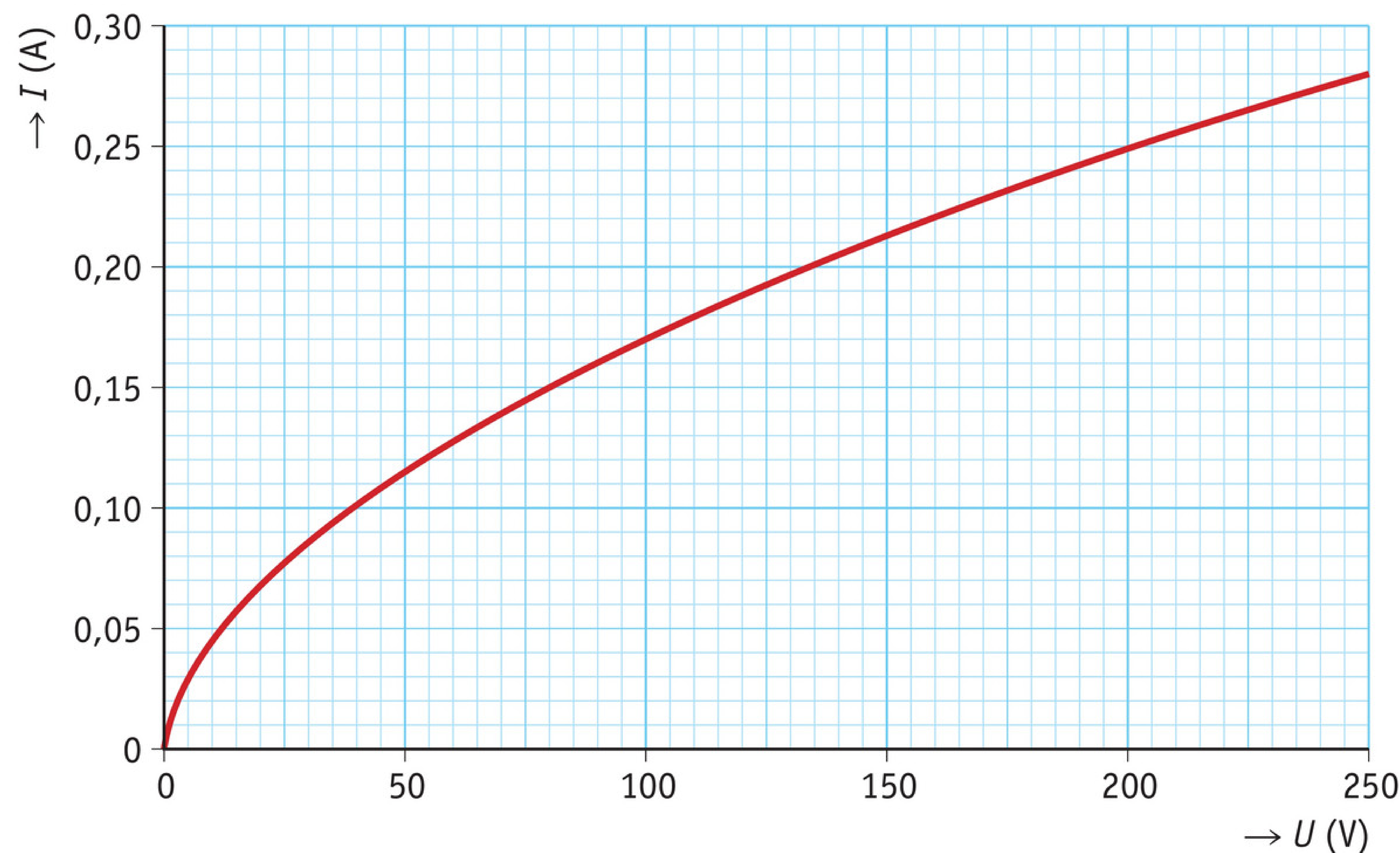
Leg uit welke van deze drie componenten ohmse weerstanden zijn.

21 Gloeidraad

Gilles wil tijdens een practicum bij kamertemperatuur de weerstand van een gloeidraad bepalen. Hiertoe maakt hij een schakeling die bestaat uit een spanningsbron, een stroommeter, een spanningsmeter en de gloeidraad.

a Teken het schakelschema dat nodig is om de grootte van de weerstand te bepalen.

In figuur 27 is de (I, U)-karakteristiek van de gloeidraad getekend.



▲ **figuur 27** het (I, U)-diagram van de gloeidraad

b Vul in *kleiner*, *gelijk* of *groter*.
De weerstand van de gloeidraad wordt … als de spanning over de gloeidraad toeneemt.

c Bepaal de weerstand van de gloeidraad wanneer de spanning over de gloeidraad 230 V bedraagt.

Gilles wil de weerstand van de gloeidraad bij kamertemperatuur bepalen.

d Waarom kan Gilles dit beter bij een spanning van 0 V doen dan bij een spanning van bijvoorbeeld 10 V? Licht je antwoord toe.

e Bepaal met behulp van figuur 27 de weerstand van de gloeidraad bij kamertemperatuur.

22 Levensgevaarlijk

Een kleine elektrische stroom door je lichaam leidt tot spiersamentrekking. Toenemende stroomsterkte leidt achtereenvolgens tot pijn, bewusteloosheid, hartproblemen en zelfs de dood. Daarbij zijn ook de tijdsduur van de stroom en de weg van de stroom door je lichaam van belang.

Als je huid vochtig is, kan de totale weerstand die de stroom bij doorgang door jouw lichaam ondervindt kleiner zijn dan 1,0 kΩ. Bij een stroomstoot van 100 mA die door je hartstreek loopt en die langer duurt dan een paar seconden, kun je bewusteloos raken. Bereken vanaf welke spanning je dan ten gevolge van een stroomsterkte van 100 mA bewusteloos kunt raken (ga ervan uit dat de weerstand van je lichaam 1,0 kΩ is).

4 De weerstand van een draad

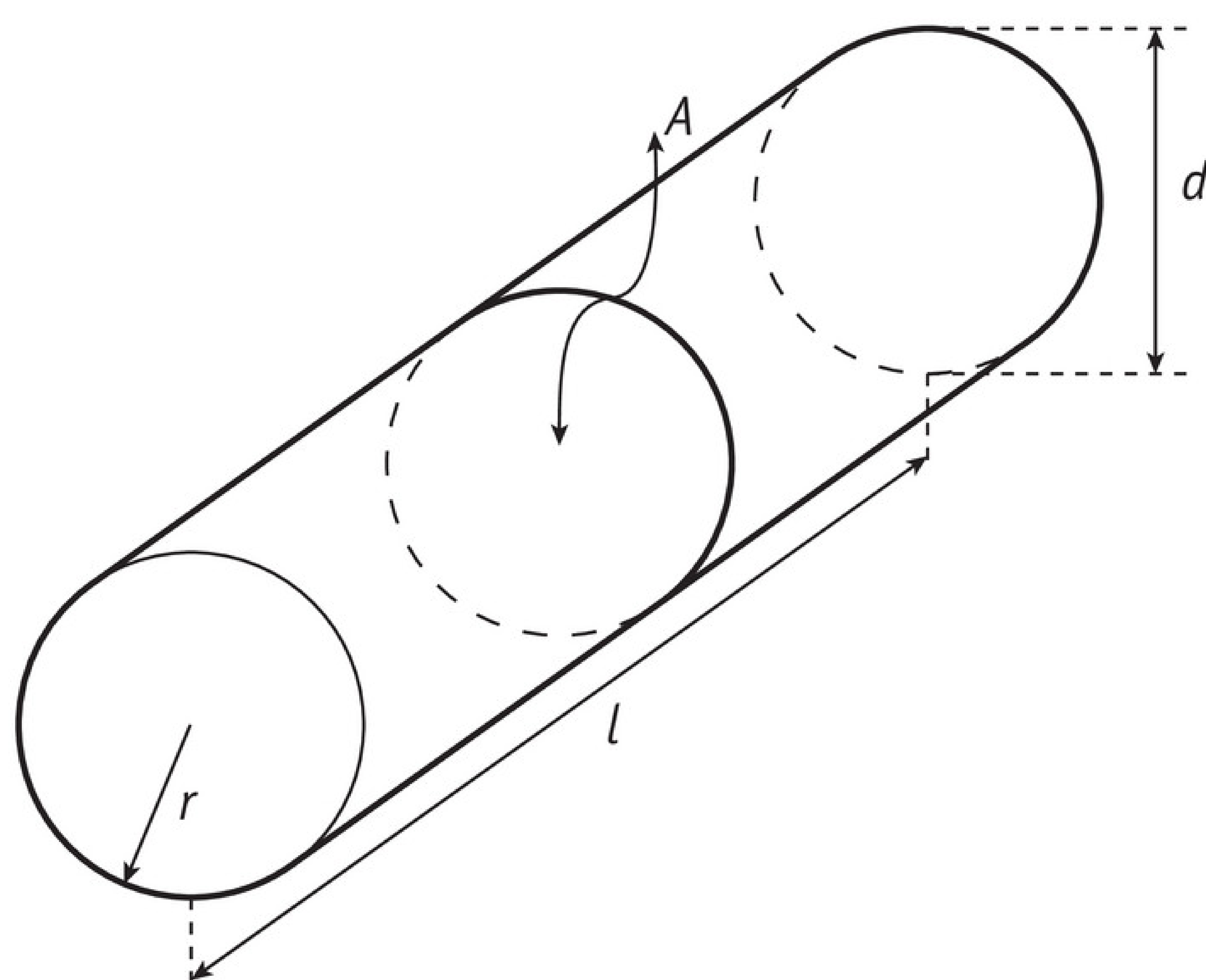
In deze paragraaf leer je:
- de definitie van soortelijke weerstand kennen;
- van welke factoren de weerstand van een draad afhangt.

In de vorige paragraaf heb je gelezen dat weerstand de mate is waarin stroomsterkte wordt gehinderd. Hoe groter de waarde van de weerstand is, des te groter is deze hinder. De grootte van de weerstand wordt door verschillende factoren bepaald.

Weerstand van een metaaldraad

De weerstand van een metaaldraad hangt van drie grootheden af: de lengte van de draad, de doorsnede van de draad en het materiaal waarvan de draad is gemaakt. De temperatuur van de draad heeft ook invloed op de waarde van de weerstand; dit wordt in de volgende paragraaf besproken.
Als de **lengte** l van de draad groter wordt, neemt de weerstand toe. De draad geleidt de stroom moeilijker. Dit kun je vergelijken met een lang rietje waardoor je frisdrank probeert te drinken. Hoe langer het rietje, hoe moeilijker het gaat. Bij een draad geldt dus dat de weerstand recht evenredig is met de lengte.
De weerstand van de draad is ook afhankelijk van de **doorsnede** A van de draad. Hoe dikker de draad, hoe gemakkelijker de draad de stroom geleidt en des te kleiner de weerstand. Dit kun je vergelijken met een dik rietje, of met meerdere rietjes waardoor je frisdrank drinkt: dat gaat gemakkelijker. De doorsnede is de oppervlakte waar je tegenaan kijkt als je de draad doorsnijdt. Doordat een draad de vorm van een cilinder heeft, is de doorsnede ervan meestal de oppervlakte van een cirkel. De doorsnede van een draad kun je berekenen als je de straal r of de diameter d van een draad weet: $A = \pi \cdot r^2$ (Binas tabel 36) of $A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$. De doorsnede wordt uitgedrukt in vierkante meter. De diameter van een draad is de dikte van de draad. De diameter van de draad druk je net als de straal uit in meter. Let er dus op dat je bij het maken van opdrachten de doorsnede A niet verwisselt met de diameter d.

In figuur 28 zijn alle genoemde grootheden weergegeven.



▲ **figuur 28** een cilinder met lengte (l), straal (r), dikte (d) en doorsnede (A)

De weerstand van een metaaldraad is omgekeerd evenredig met de doorsnede van de draad. Dit betekent dat een 2× zo grote doorsnede een 2× zo kleine weerstand geeft.

Voorbeeldopgave 6

Een koperdraad heeft een doorsnede van 20 mm^2.
Bereken de diameter van de draad.

Uitwerking
De oppervlakte van doorsnede A van de draad kun je berekenen met de formule $A = \pi \cdot r^2$.
Hierbij staat r voor de straal van de cirkelvormige doorsnede.

$$r^2 = \frac{A}{\pi} = \frac{20}{\pi} = 6{,}37 \rightarrow r = \sqrt{6{,}37} = 2{,}5 \text{ mm}$$

$$d = 2 \cdot r = 2 \times 2{,}5 = 5{,}0 \text{ mm}$$

Soortelijke weerstand

Het ene metaal laat de stroom gemakkelijker door dan het andere metaal. De mate waarin het ene metaal beter geleidt dan het andere, wordt bepaald door de **soortelijke weerstand ρ**. De soortelijke weerstand van een draad is de weerstand van een draad met een lengte van één meter en een doorsnede van één vierkante meter. De soortelijke weerstand van veelgebruikte metalen kun je vinden in Binas tabel 8 en 9. De soortelijke weerstand is afhankelijk van de temperatuur. Je mag bij het maken van opdrachten de soortelijke weerstanden uit Binas gebruiken (die eigenlijk alleen bij 293 K gelden). Let bij het aflezen in Binas op dat je de soortelijke weerstand kiest en niet de dichtheid, en dat je met de juiste macht van 10 vermenigvuldigt. De juiste macht van 10 staat boven de kolom.
De weerstand van een draad wordt gegeven door:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Hierin is:
- R de weerstand van de draad in ohm (Ω);
- ρ de soortelijke weerstand in ohm meter (Ω m);
- l de lengte van de draad in meter (m);
- A de doorsnede van de draad in vierkante meter (m^2).

$$[\rho] = \frac{[R]\cdot[A]}{[l]} = \frac{\Omega\cdot m^2}{m} = \Omega \text{ m}$$

Als je het moeilijk vindt om l, A en ρ uit te rekenen met deze formule, kun je de volgende formule onthouden: $\rho \cdot l = R \cdot A$

Voorbeeldopgave 7

Een zilverdraad met een dikte van 0,10 mm heeft een weerstand van 1,0 kΩ.
Bereken de lengte van de zilverdraad.

Uitwerking
Gegevens:
$\rho = 16\cdot10^{-9}$ Ω m (Binas tabel 8)
$R = 1{,}0$ kΩ $= 1{,}0\cdot10^3$ Ω
$d = 0{,}10 \text{ mm} \rightarrow r = ½ \cdot d = ½ \times 0{,}10 = 0{,}050 \text{ mm} = 5{,}0\cdot10^{-5}$ m

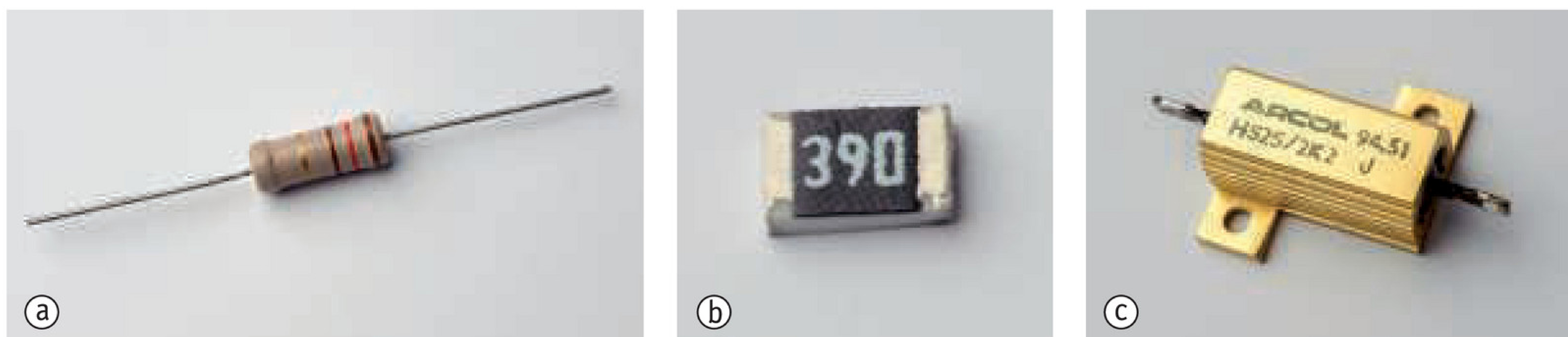
Formule: $A = \pi \cdot r^2$ en $R = \dfrac{\rho \cdot l}{A} \rightarrow l = \dfrac{R \cdot A}{\rho}$

$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (5{,}0 \cdot 10^{-5})^2 = 7{,}9 \cdot 10^{-9}\ \text{m}^2$

$l = \dfrac{1{,}0 \cdot 10^3 \times 7{,}9 \cdot 10^{-9}}{16 \cdot 10^{-9}} = 4{,}9 \cdot 10^2\ \text{m}$

Het woord weerstand

Het woord weerstand wordt in de natuurkunde op twee manieren gebruikt. In veel gevallen wordt met de weerstand de weerstandswaarde in ohm bedoeld, maar het woord weerstand wordt ook gebruikt om de elektrische component aan te duiden. In dit geval is een weerstand meestal een stukje metaaldraad waar een behuizing omheen zit. Een weerstand kun je in verschillende vormen krijgen. Een aantal vormen zie je in figuur 29.



▲ **figuur 29** verschillende soorten weerstanden: (a) draadweerstand; (b) *small mounted device* (SMD); (c) vermogensweerstand met koellichaam

Onthoud!

- De weerstand van een draad is afhankelijk van de lengte, de doorsnede en het soort metaal dat is gebruikt.
- Soortelijke weerstand is een maat voor de weerstand die een bepaald soort materiaal vormt voor de elektrische stroom.
- De weerstand van een draad is recht evenredig met de lengte en de soortelijke weerstand.
- De weerstand van een draad is omgekeerd evenredig met de doorsnede.
- De weerstand van een draad kun je uitrekenen met de formule $R = \dfrac{\rho \cdot l}{A}$

Opdrachten

23 Formule omschrijven

Herschrijf de formule van de weerstand van een draad in de volgende vormen.

a $l = \ldots$
b $A = \ldots$
c $\rho = \ldots$

24 Ontbrekende waarden
In tabel 2 is een aantal gegevens ingevuld.
Bereken de ontbrekende waarden. Schrijf de berekeningen op.

▼ **tabel 2** gegevens van een aantal draden

	weerstand van de draad	metaal	lengte *l* van de draad	doorsnede *A* van de draad	diameter *d* van de draad
a	10 Ω	koper	10 m	… m^2	… mm
b	2,7 kΩ	platina	… m	2,0 mm^2	… mm
c	350 Ω	constantaan	… m	… m^2	40 μm
d	… Ω	nichroom	20 cm	0,018 m^2	… m
e	… Ω	ijzer	6,0 km	… m^2	8,0 cm
f	18 Ω	…	12 dm	… m^2	0,043 mm

25 Draad
Beredeneer wat er met de weerstand en de geleidbaarheid van een draad gebeurt als deze:
a 2× zo lang wordt.
b 2× zo dik wordt.
c een 2× zo grote doorsnede krijgt.

26 Aansluitsnoer
Tijdens een practicum gebruik je aansluitsnoeren. De aansluitsnoeren zijn gemaakt van koperdraad met een dikte van 2,0 mm en een lengte van 65 cm.
a Bereken de weerstand van één aansluitsnoer.
b Leg uit waarom je de weerstand van een aansluitsnoer mag verwaarlozen.

27 Verlengsnoer
In een verlengsnoer van 30 m zitten twee koperen aders. Elke ader heeft een cirkelvormige doorsnede van 2,5 mm^2.
a Bereken de dikte van de koperdraad.
b Bereken de weerstand van beide aders.

Met het verlengsnoer wordt een straalkachel van 26 Ω op het stopcontact aangesloten (U = 230 V).
c Teken het elektrisch schakelschema.
d Leg uit of je de weerstand van het verlengsnoer mag verwaarlozen.
e Je kunt de weerstand van het verlengsnoer verkleinen door een metaal met een andere soortelijke weerstand te kiezen.
Leg uit of de soortelijke weerstand van het metaal dan groter of kleiner moet zijn.

28 Constantaandraad
Constantaan wordt gebruikt in apparaten waarbij weerstandswaarden zo constant mogelijk moeten zijn.
Een constantaandraad van 10 m (R = 17 Ω) is verbonden met de polen van een batterij van 12 V.
a Bereken de stroomsterkte door de draad.

De constantaandraad wordt in de lengte gehalveerd. Een van beide draden wordt nu opnieuw verbonden met de batterij van 12 V.
b Bereken de stroomsterkte door de draad.
c Welk verband is er tussen de stroomsterkte door de draad en de lengte van de draad?

De twee gehalveerde draden worden dubbel genomen. Hierdoor wordt de totale oppervlakte waar de stroom doorheen gaat verdubbeld. De lengte neemt dus niet toe. Ook deze dubbele draad wordt aangesloten op de polen van de batterij van 12 V.

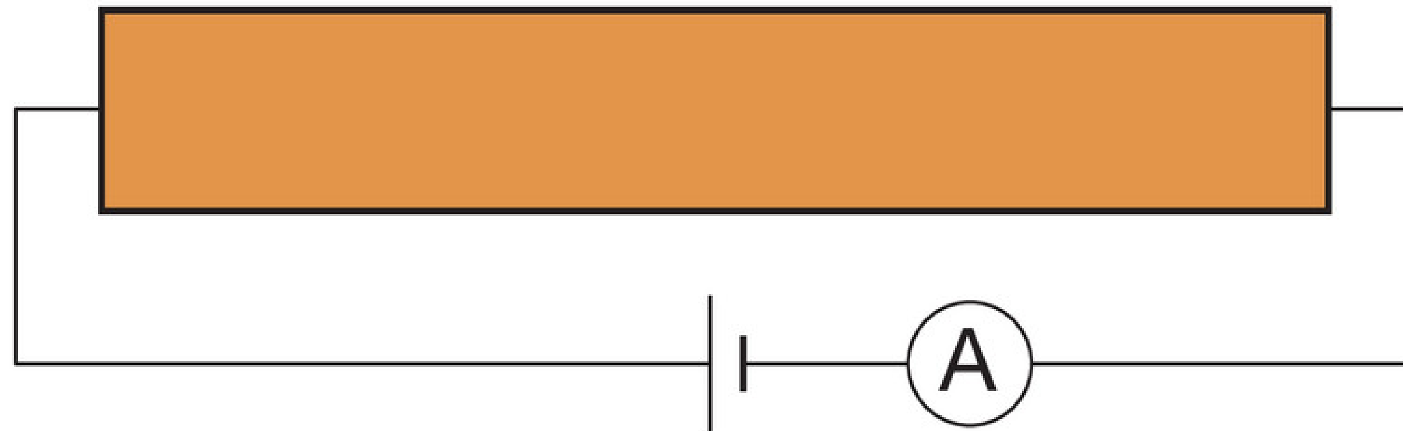
d Bereken de stroomsterkte door de constantaandraad.

e Welk verband is er tussen de stroomsterkte door de draad en de doorsnede?

f Welk verband is er tussen de stroomsterkte door de draad en de dikte?

29 Koperen strip

Een platte koperen strip met een dikte van 0,10 mm wordt verbonden met een spanningsbron en een stroommeter. De strip is in figuur 30 op ware grootte afgebeeld. Daarin is ook te zien hoe de spanningsbron is verbonden met de strip.



▲ **figuur 30** een koperen strip verbonden met een stroommeter en een spanningsbron

a Bepaal de grootte van de contactoppervlakte van de strip.

b Bepaal de weerstand van de strip.

c De stroommeter geeft 10 mA aan.
Bepaal de spanning van de spanningsbron.

d Als de strip uitrekt, wordt de weerstand van de koperen strip groter.
Geef hiervoor twee redenen.

30 Veiligheidsschoenen

Een elektricien draagt tijdens zijn werk speciale veiligheidsschoenen. Deze schoenen hebben een 5,5 mm dikke rubberen zool.

a Bereken de weerstand van een zool als deze 2,2 dm^2 groot is.

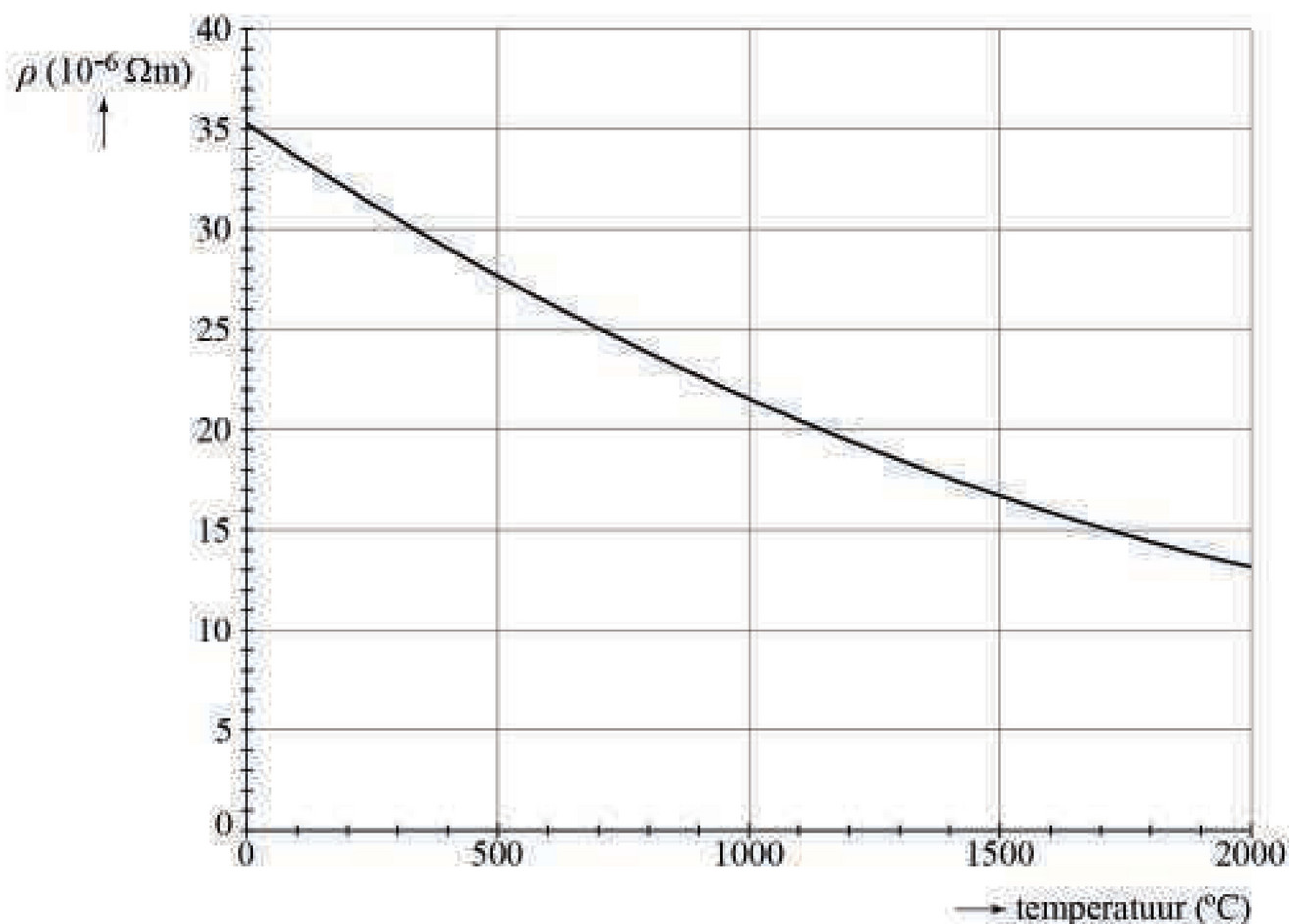
b Een stroomsterkte door het lichaam groter dan enkele tientallen mA kan fatale gevolgen hebben.
Laat zien dat de veiligheidsschoenen voldoende bescherming bieden als over de elektricien een spanning van 230 V komt te staan.

+31 Gloeidraad

Een gloeidraad is gemaakt van koolstof. De draad heeft een lengte van 14 cm en een dikte van 0,030 mm. In figuur 31 is aangegeven hoe de soortelijke weerstand van koolstof afhangt van de temperatuur. Bij een spanning van 230 V loopt door de draad een stroomsterkte van 75 mA.

Bepaal met behulp van de figuur de temperatuur van de gloeidraad.

bron: examen 2010-II



▲ **figuur 31** het (ρ,T)-diagram van koolstof

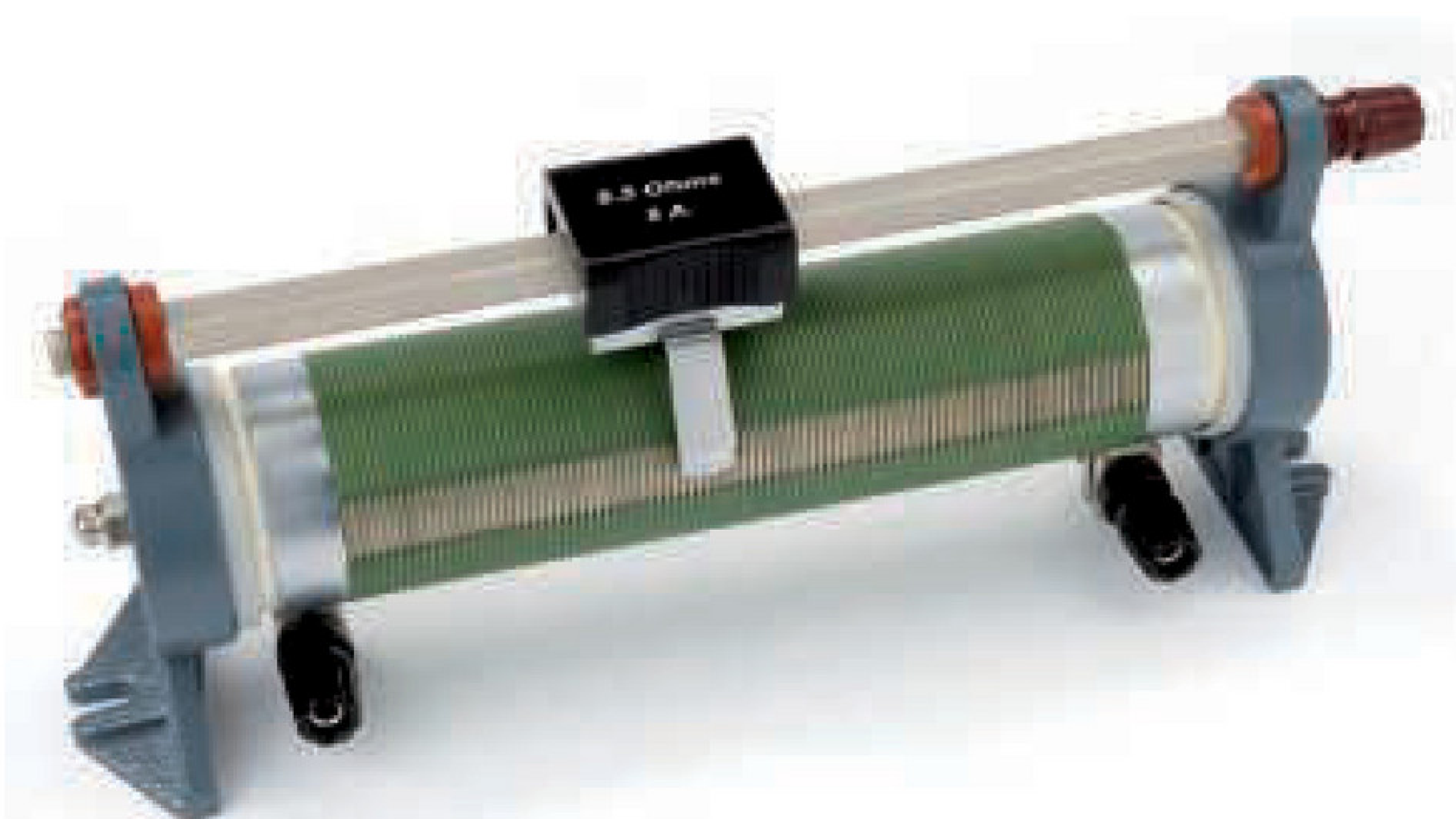
+32 Schuifweerstand

Een schuifweerstand is een combinatie van een draad met een bekende lengte en een verplaatsbaar contact (figuur 32). De draad is opgerold. Het verplaatsbare contact kan over de lengte van de draad worden versleept. Door het verplaatsen van het contact verandert ook de weerstand tussen het contact en een van beide uiteinden.

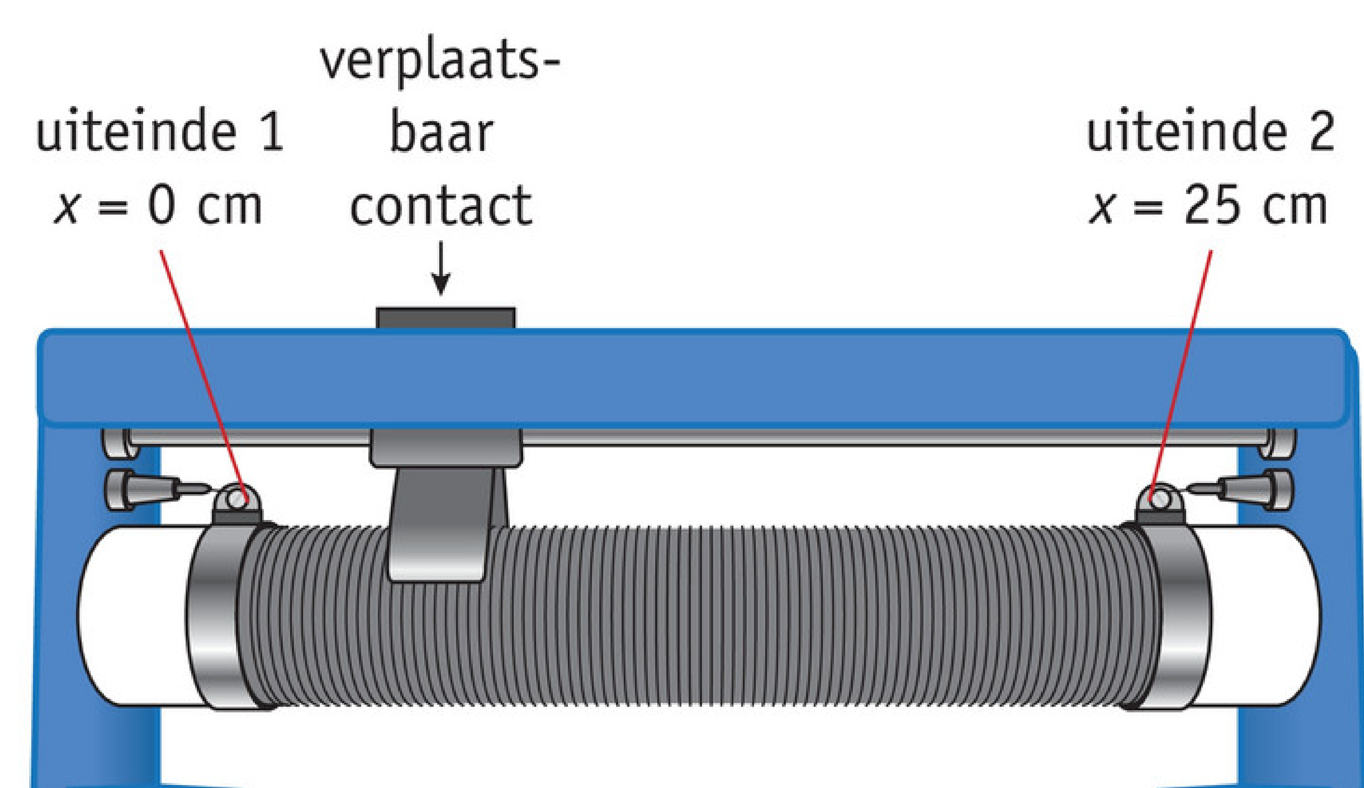
Figuur 33 is een schematische weergave van de schuifweerstand. De positie van de schuif wordt aangegeven met x. Als het contact helemaal naar links staat (x = 0 cm), is de weerstand tussen uiteinde 1 en het contact 0 Ω en tussen uiteinde 2 en het contact 100 Ω. De lengte waarover kan worden geschoven, is 25 cm.

a Bereken de weerstand tussen uiteinde 1 en het contact als de schuif op x = 1,0 cm staat.

b Bereken op welke afstanden de schuif kan staan om een weerstand van 1,0 Ω te krijgen.



▲ **figuur 32** een schuifweerstand



▲ **figuur 33** schematische weergave van een schuifweerstand

5 Speciale weerstanden

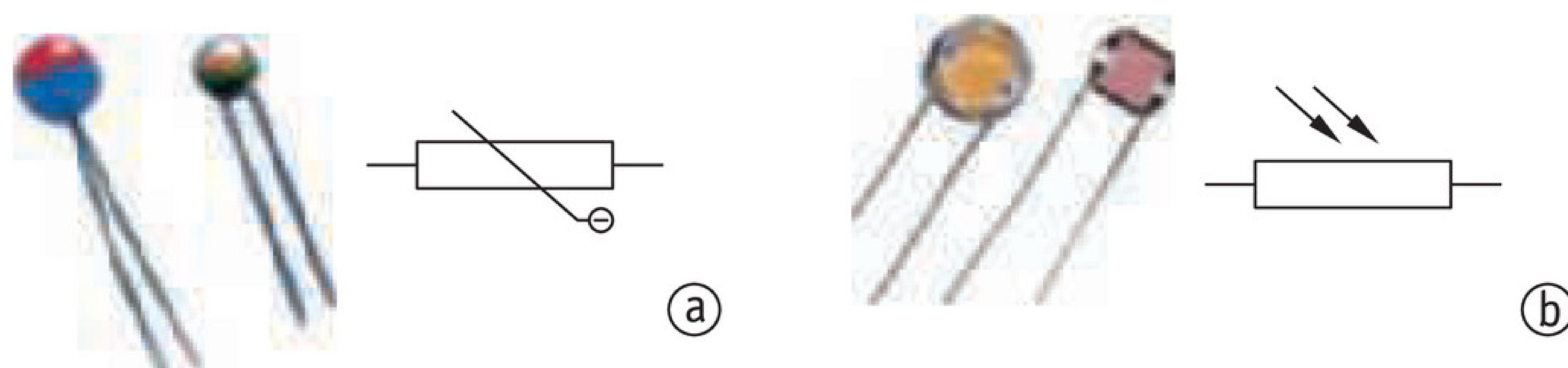
In deze paragraaf leer je:
- de eigenschappen van een PTC, NTC, LDR en een diode kennen;
- de componenten PTC, NTC, LDR en diode toe te passen.

Ohmse weerstanden hebben een constante weerstandswaarde. In paragraaf 3 heb je kennisgemaakt met niet-ohmse weerstanden, waarbij de weerstand verandert bij toenemende spanning. Er zijn ook speciale weerstanden die afhankelijk zijn van temperatuur en licht.

PTC, NTC en LDR

Geleiders waarvan de weerstandswaarde constant is, worden ohmse weerstanden genoemd. Voor die weerstanden geldt de wet van Ohm. Voorbeelden van ohmse weerstanden zijn draadstukken van manganien en constantaan. Dat zijn mengsels (ook alliages of legeringen genoemd) van verschillende metalen. In Binas tabel 9 zie je de samenstelling van die alliages.

In paragraaf 3 zag je al dat het (I,U)-diagram van ohmse weerstanden een rechte lijn door de oorsprong is: I en U zijn recht evenredig. In het (I,U)-diagram van een gloeidraad is de grafiek geen rechte lijn. De weerstand wordt groter naarmate de stroomsterkte en daardoor ook de temperatuur toeneemt. Dat komt doordat de weerstand van het materiaal waarvan de gloeidraad is gemaakt, bij temperatuurstijging groter wordt. Dat geldt voor de meeste metalen. Vanwege deze temperatuurafhankelijkheid worden deze materialen ook wel **PTC's** genoemd: materialen met een **p**ositieve **t**emperatuur**c**oëfficiënt. Ze zijn heel geschikt als temperatuurbeveiliging in elektrische apparaten.
Er zijn ook weerstanden waarvan de grootte van de weerstand juist afneemt als de temperatuur stijgt. Deze weerstanden worden **NTC's** (**n**egatieve **t**emperatuur**c**oëfficiënt) genoemd (figuur 34a). Ze zijn heel geschikt om te dienen als elektrische thermometer.
Bij andere weerstanden neemt de weerstand juist af naarmate er meer licht op valt. Deze zogenoemde **LDR's** (*light dependent resistor*, lichtgevoelige weerstand) worden als lichtsensoren toegepast (figuur 34b). LDR's zijn gemaakt van halfgeleiders: stoffen die qua elektrische geleiding het midden houden tussen een geleider en een isolator. Als er weinig of geen licht op een LDR valt, is de weerstand hoog.



▲ **figuur 34** NTC (a) en LDR (b) en hun symbolen

▶ **EXPERIMENT 2** Temperatuurbepaling met een NTC

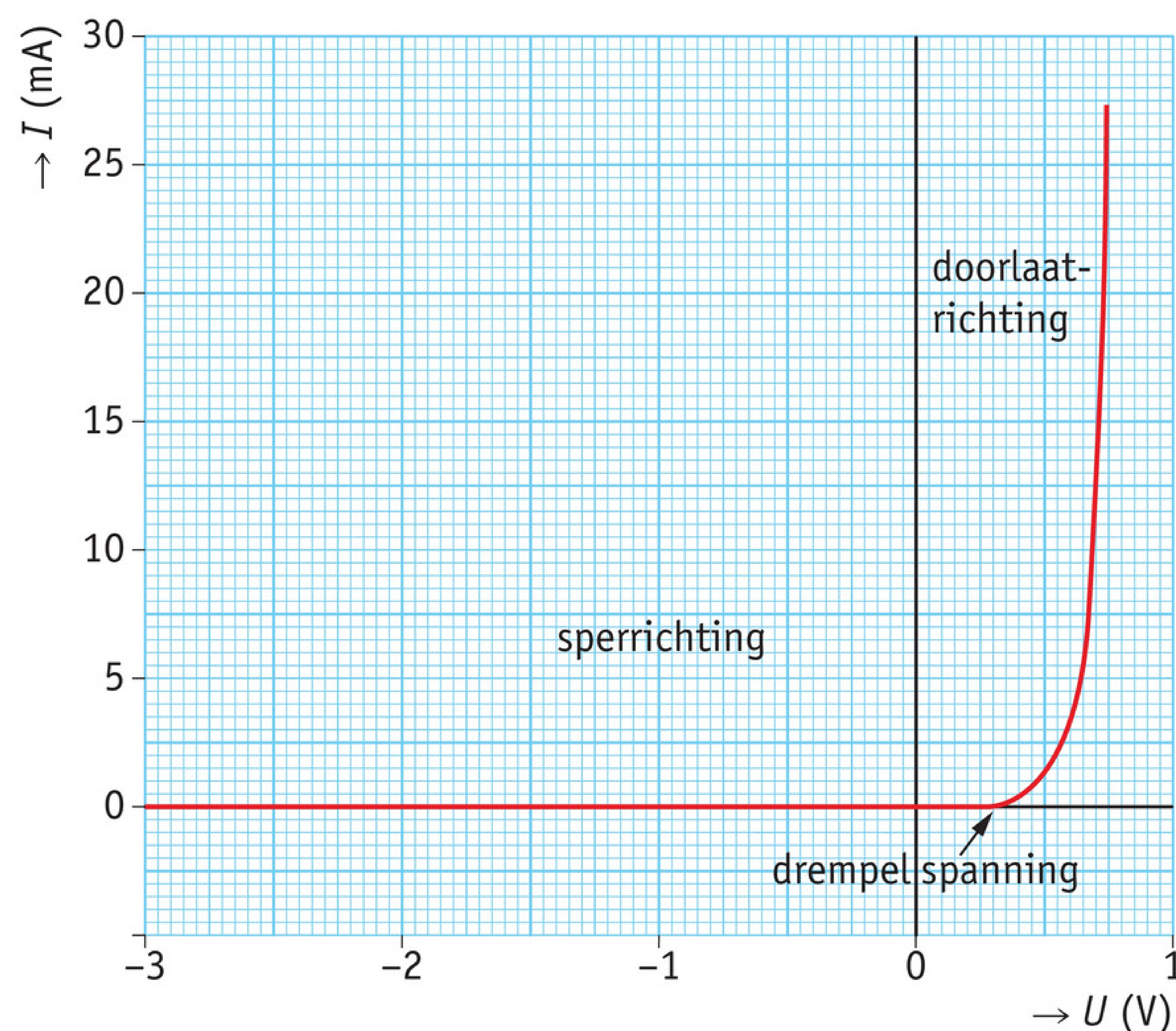
De diode

Een bijzondere weerstand is de **diode** (figuur 35). Deze component laat stroom maar in één richting door: de **doorlaatrichting**. In tegengestelde richting kan geen stroom door de diode lopen: dat is de **sperrichting**.



▲ **figuur 35** diode en het symbool van een diode

Het (I,U)-diagram van de diode ziet eruit als in figuur 36. Alleen als de linkerzijde van de diode in figuur 35 op de positieve pool en de rechterzijde op de negatieve pool van de spanningsbron wordt aangesloten, kan er vanaf een (kleine) spanning, de zogenaamde **drempelspanning**, een stroom door de diode lopen. Dat wordt de doorlaatrichting genoemd. Sluit je de diode omgekeerd op de spanningsbron aan (de negatieve spanning in het diagram van figuur 36), dan loopt er geen stroom: de sperrichting.

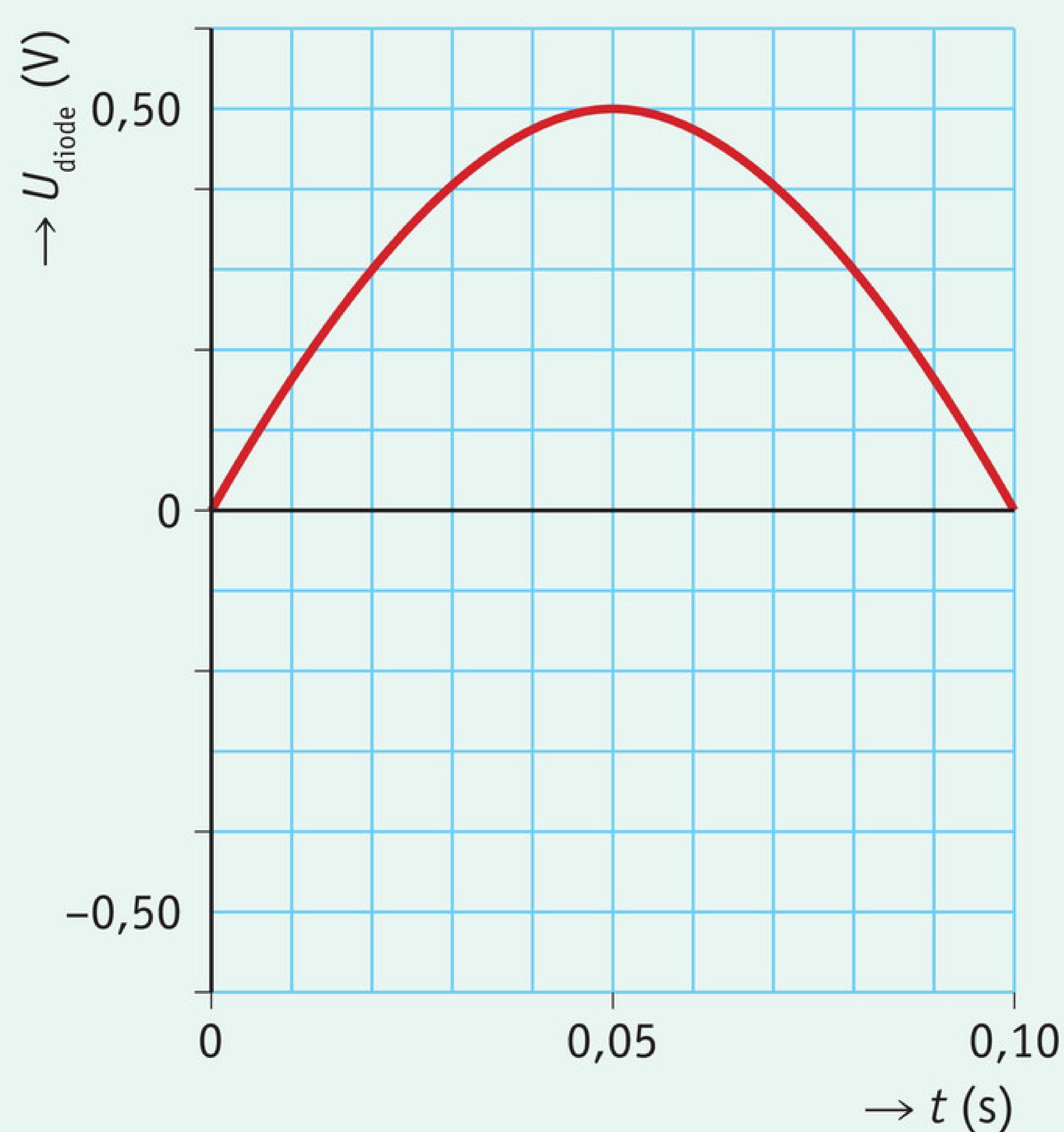


▲ **figuur 36** de (I,U)-karakteristiek van een diode

Voorbeeldopgave 8

De diode van figuur 36 wordt aangesloten op een regelbare spanningsbron. De spanning wordt gevarieerd. De spanning over de diode als functie van de tijd is weergegeven in figuur 37.

a Bepaal met behulp van figuur 36 de spanning waarbij de diode stroom doorlaat.
b Bepaal met behulp van figuur 37 de tijdsduur waarin de diode stroom doorlaat.

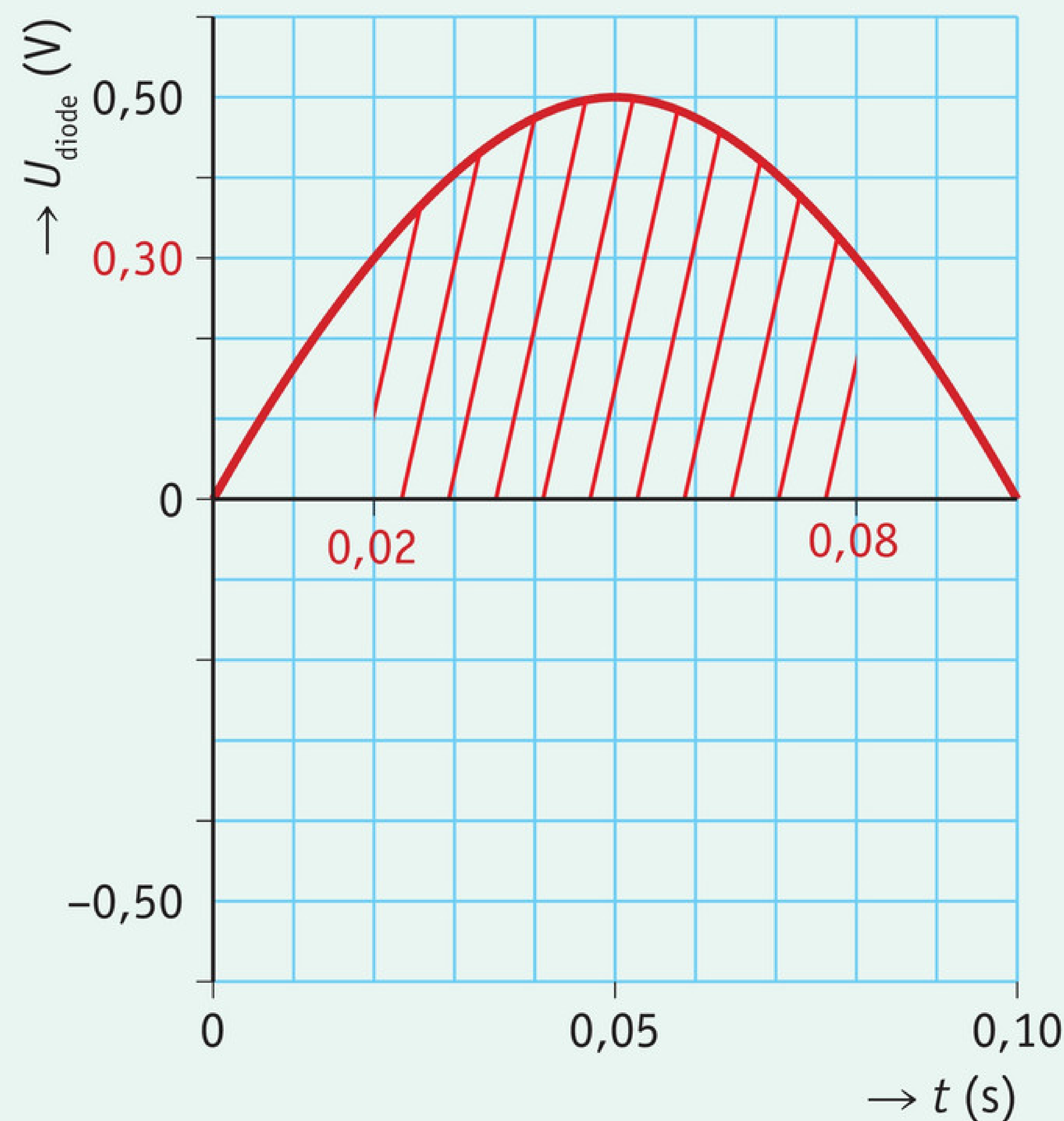


▲ **figuur 37** het (U,t)-diagram van de diode

Uitwerking

a De diode laat pas stroom door als de spanning groter is dan de drempelspanning. De drempelspanning in figuur 36 is 0,30 V.

b De diode laat de stroom door als de spanning over de diode groter is dan 0,30 V. Dit is tussen 0,02 s en 0,08 s (figuur 38). De tijdsduur waarin de diode stroom doorlaat, is 0,08 – 0,02 = 0,06 s.



▲ **figuur 38** bepaling van de tijdsduur bij U_{diode} > 0,30 V

De led

Sommige dioden zenden zichtbaar licht uit als de stroom er in de doorlaatrichting doorheen wordt gestuurd. Dit type diode wordt **led** genoemd (*light emitting diode*; figuur 39). Deze dioden worden onder meer gebruikt als stand-bylampjes op televisies of computers.
Leds worden steeds meer als verlichting toegepast, bijvoorbeeld bij verkeerslichten, in autoverlichting (de 'kraaltjeskoplampen'), maar ook bij verlichting in huis. Ledverlichting is duurder dan andere verlichting, maar gaat langer mee en er is minder warmteverlies dan bij andere soorten verlichting, zoals spaarlampen.



▲ **figuur 39** led en het symbool van een led

Onthoud!

- Bij ohmse weerstanden is de weerstandswaarde constant en dus niet temperatuurafhankelijk.
- Bij niet-ohmse weerstanden is de weerstandswaarde temperatuurafhankelijk: bij temperatuurstijging wordt de weerstand groter (PTC's) of kleiner (NTC's).
- Met halfgeleidermaterialen kun je lichtgevoelige weerstanden maken: LDR's. Naarmate er meer licht op valt, wordt de weerstand kleiner.
- Dioden zijn elektrische componenten die de stroom maar in één richting doorlaten.
- Leds zijn dioden die licht uitzenden.

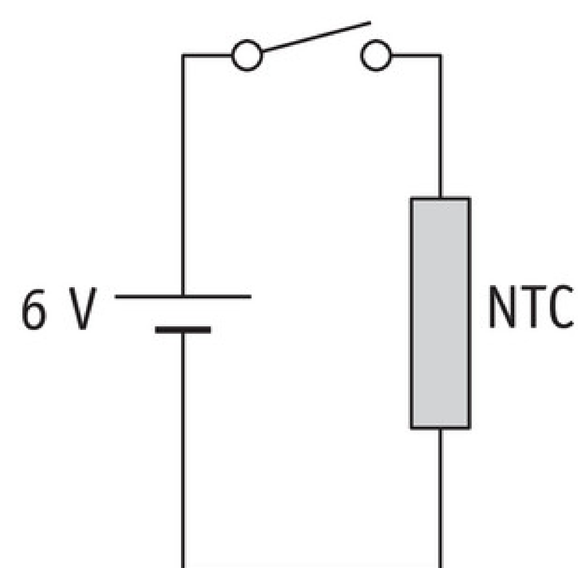
Opdrachten

33 Specifieke weerstanden
Beantwoord de volgende vragen.
a Wat is een led?
b Welke bijzondere eigenschap heeft een diode?
c Wat is het verschil tussen een PTC- en een NTC-weerstand?

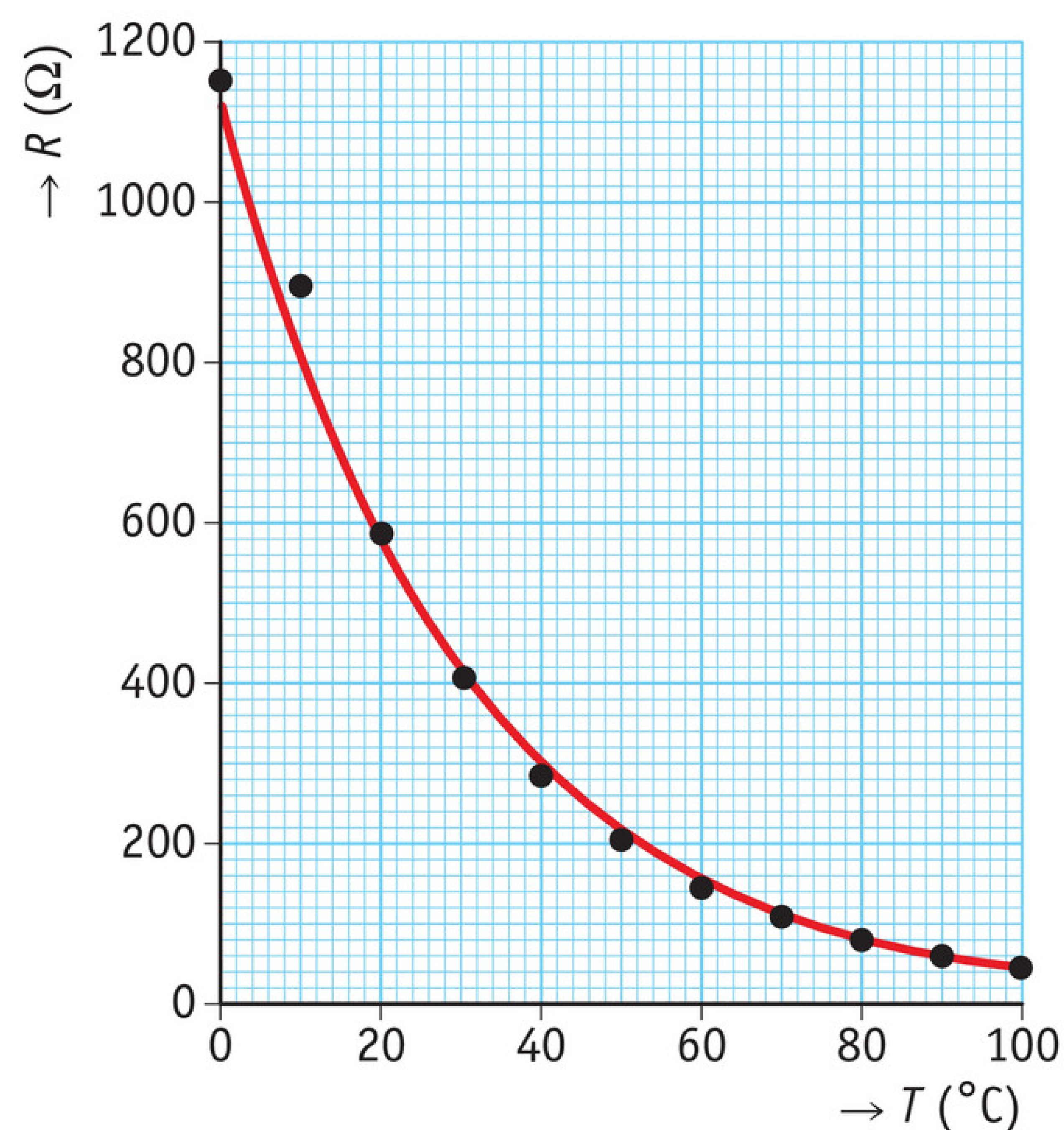
34 NTC-weerstand
Bij een NTC-weerstand neemt de grootte van de weerstand af als de temperatuur stijgt.
a Schets het (I, U)-diagram van een NTC-weerstand.
b Licht toe hoe je uit jouw diagram kunt afleiden dat de weerstand afneemt als de temperatuur stijgt.

35 LDR
Een LDR die op een batterij van 4,5 V is aangesloten, heeft onbelicht een weerstand van 8,0 MΩ. De weerstandswaarde neemt af tot 100 Ω als er zonlicht op valt.
a Teken een schakelschema van deze situatie (gebruik Binas tabel 17B).
b Bereken de minimale en maximale stroomsterkte die door de LDR kan gaan.

36 Elektrische thermometer
De NTC-weerstand in figuur 40 wordt als elektrische thermometer gebruikt. Na het sluiten van de schakelaar staat over de NTC een spanning van 6,0 V.
a Desirée vergelijkt de stroomsterkte door de NTC vlak nadat de schakelaar is gesloten en een tijdje daarna.
Leg uit of de stroomsterkte door de NTC het grootst is direct na het sluiten van de schakelaar of een tijdje daarna.
b De NTC wordt in een bekerglas water gedompeld. Er blijkt dan een stroom van 12 mA door de NTC te lopen.
Bekijk het (R,T)-diagram van de NTC in figuur 41. Bepaal de temperatuur van het water.



▲ **figuur 40** een NTC in een elektrische schakeling



▲ **figuur 41** de (R,T)-karakteristiek van een NTC

37 Diode

Bekijk het (I, U)-diagram van een diode in figuur 36.

a Schets het verband tussen de weerstand van de diode en de spanning (tussen –3,0 V en +1,0 V).

b In tabel 3 zie je enkele metingen van de spanningen over en de stroom door de diode van figuur 36.

▼ **tabel 3** (U,I)-gegevens van de diode

U_{diode} (V)	I_{diode} (mA)
0,00	0,0
0,13	0,0
0,21	0,0
0,55	2,3
0,67	7,0
0,74	27,0

Volgens de specificaties van de fabrikant is de drempelspanning van de diode 0,30 V. Toon aan dat de metingen in tabel 3 dit niet tegenspreken.

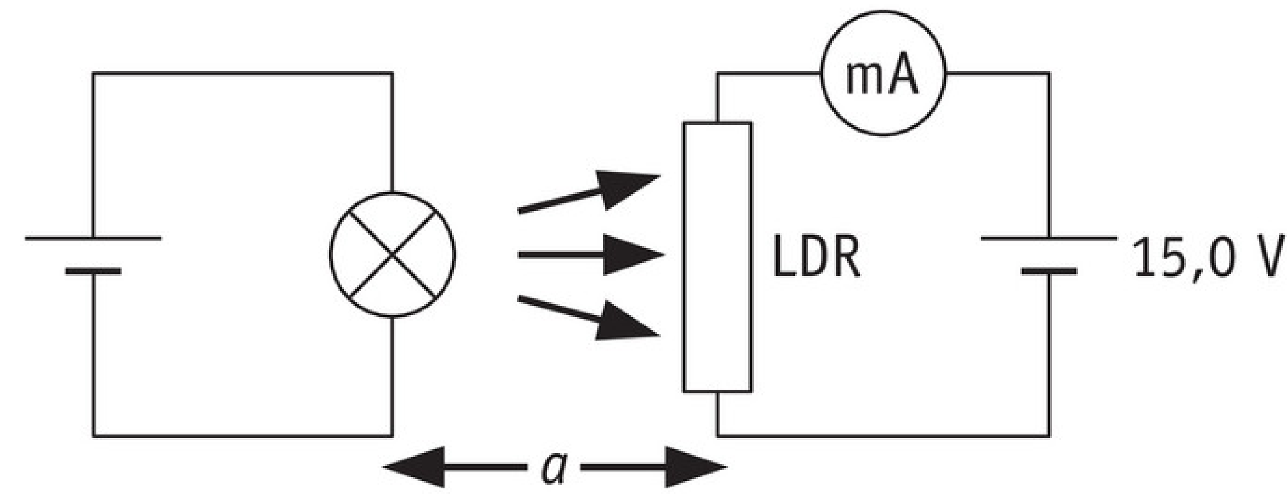
naar: examen 2011-I

38 Lichtsterkte en LDR

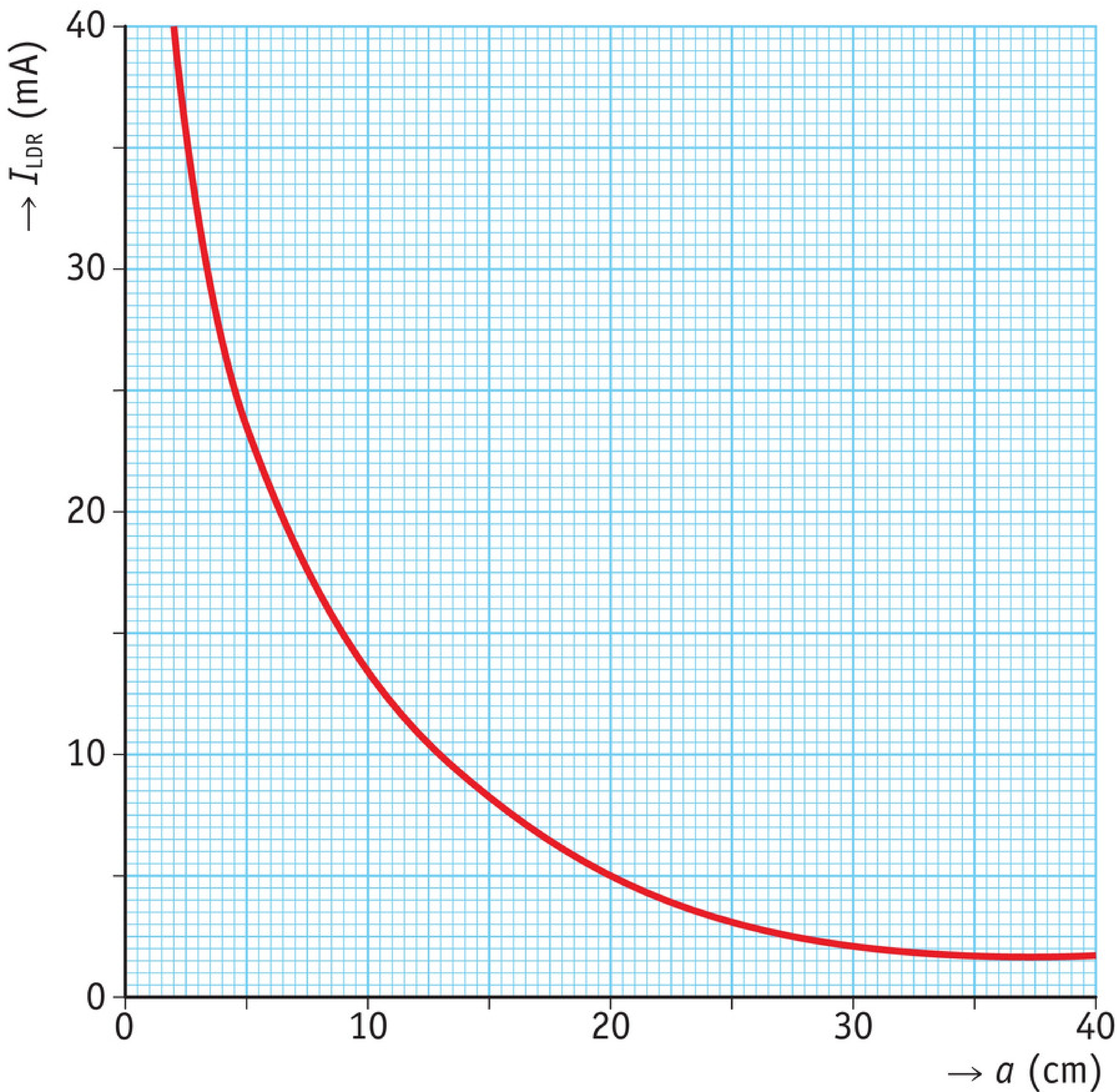
De weerstand van een LDR wordt bij verschillende lichtsterkten bepaald met behulp van de opstelling in figuur 42. De stroomsterkte door de LDR wordt daarvoor gemeten als functie van de afstand *a* tussen de LDR en het lampje. De LDR krijgt alleen licht van het lampje. De spanning over de LDR is constant 15,0 V. In figuur 43 is het resultaat van de metingen weergegeven.

a Bepaal met behulp van het diagram in figuur 43 de grootte van de weerstand van de LDR bij a = 5,0 cm, bij 15 cm, bij 25 cm en bij 35 cm.

b Maak van de meetresultaten een grafiek van de weerstand van de LDR als functie van de afstand *a*.



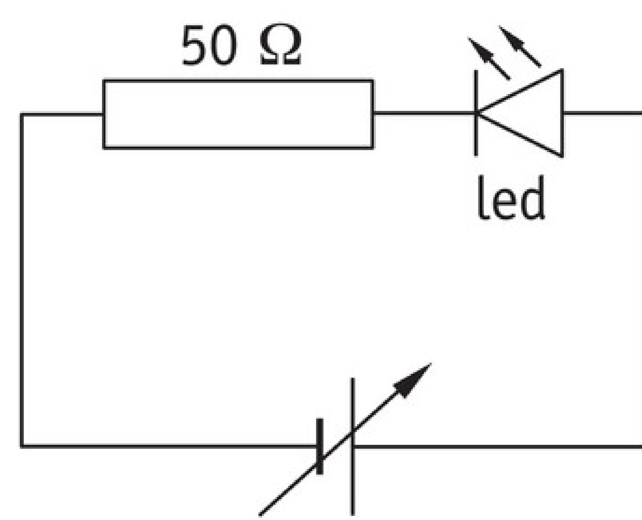
▲ **figuur 42** bepaling van de lichtsterkte met een LDR



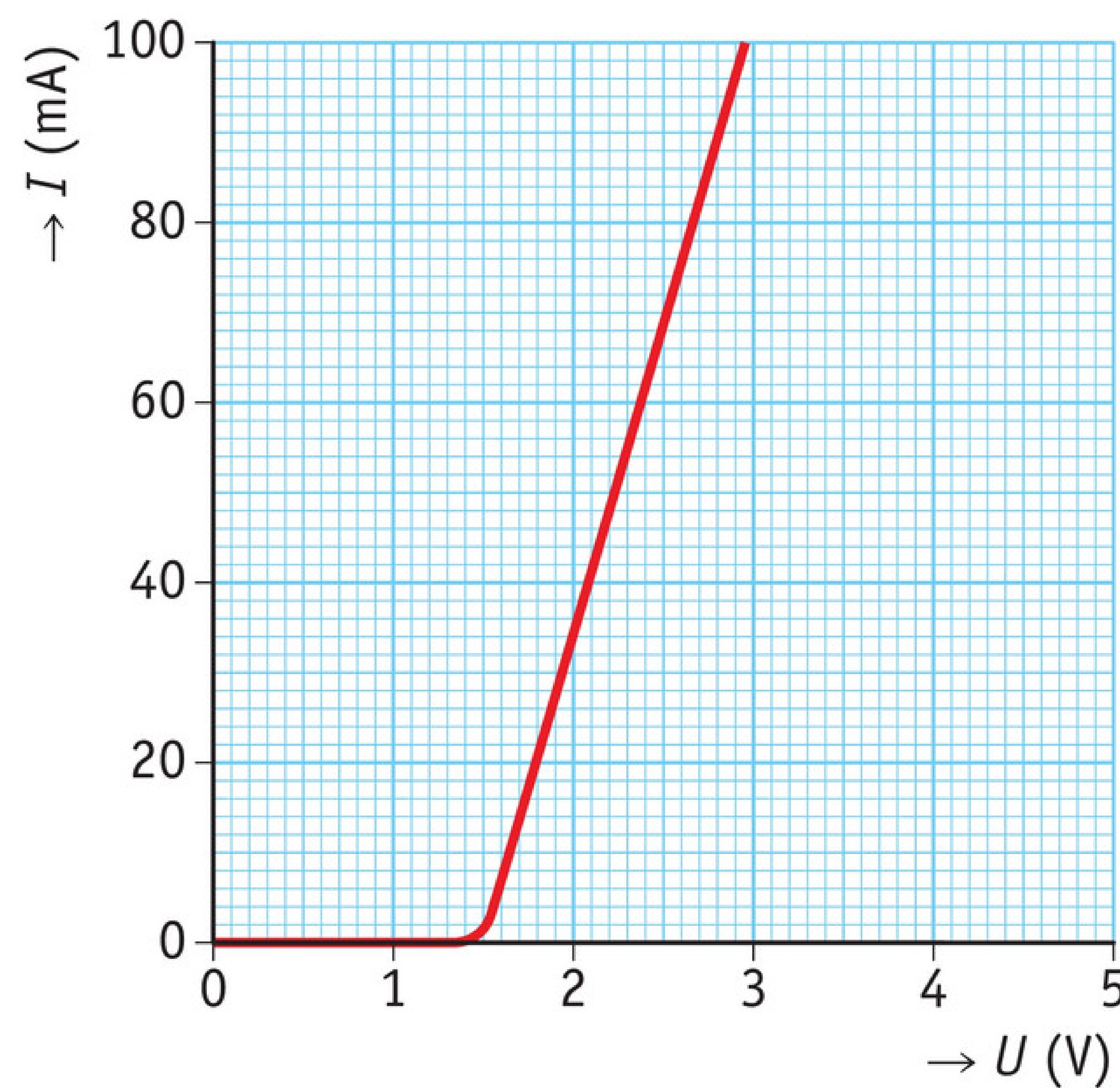
▲ **figuur 43** grafiek van een lichtmeting met de LDR

39 Led en weerstand

France neemt tijdens een practicum een led op in een elektrische schakeling, waarvan het schakelschema in figuur 44 is weergegeven. Om het verband te meten tussen de spanning over en de stroom door de led, moeten in de schakeling een spanningsmeter en een stroommeter worden opgenomen.



▲ **figuur 44** het schakelschema van Frances opstelling



▲ **figuur 45** de karakteristiek van de led uit figuur 44

a Teken het schakelschema van de schakeling waarin deze meters zijn opgenomen.

b In figuur 45 is het resultaat van de metingen weergegeven.
Bepaal de weerstand van de led wanneer de stroomsterkte door de led 50 mA bedraagt.

c In de schakeling heeft France een weerstand van 50 Ω opgenomen.
Bepaal de spanning die de spanningsbron levert als er door de led een stroom loopt van 100 mA.

+40 Temperatuur bepalen

Alfredo wil de temperatuur van een ijzeren gloeidraad bepalen. Daartoe maakt hij gebruik van de grootheid weerstandstemperatuurcoëfficiënt α. Deze grootheid geeft aan hoeveel de weerstandswaarde verandert als de temperatuur één graad stijgt. Voor de gloeidraad geldt:

$$\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Hierin is:

- ΔR de weerstandstoename in Ω;
- R_0 de weerstand bij kamertemperatuur in Ω;
- α de weerstandstemperatuurcoëfficiënt in K^{-1};
- ΔT de temperatuurstijging in K.

a Leg aan de hand van de formule uit of een gloeidraad van ijzer een ohmse weerstand, een PTC of een NTC is.

b De ijzeren draad is 21 cm lang en heeft bij kamertemperatuur een weerstand van 65 Ω.
Bereken de diameter van de draad.

Als Alfredo de ijzeren draad op een spanning van 230 V aansluit, gaat deze gloeien. De stroomsterkte door de draad is dan 0,45 A.

c Zoek in Binas tabel 8 de weerstandstemperatuurcoëfficiënt van ijzer op.

d Bereken met behulp van de gegevens de temperatuur van de gloeidraad als deze is aangesloten op 230 V.

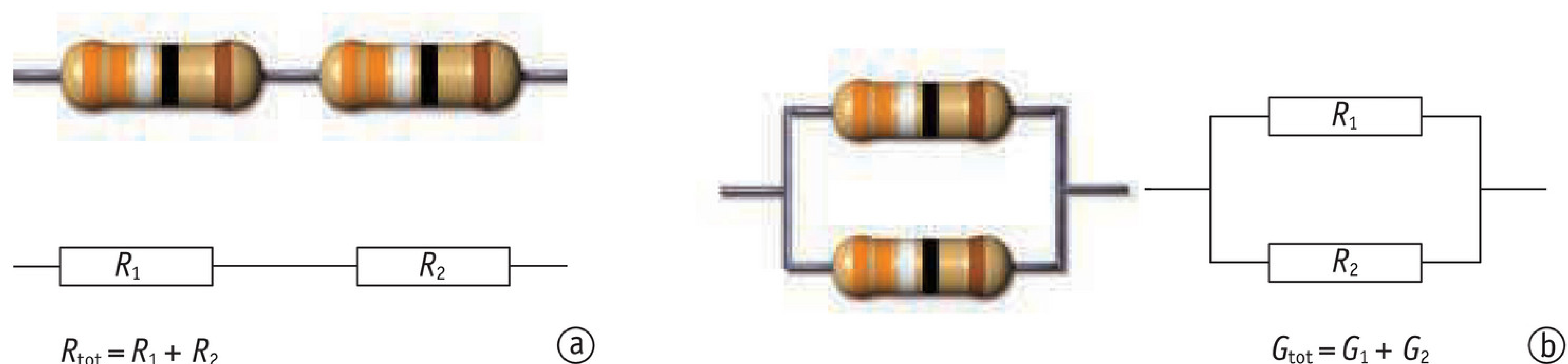
6 Serie en parallel

In deze paragraaf leer je:
- stroomkringen analyseren;
- de begrippen ‘stroomdeling’ en ‘spanningsdeling’ toepassen;
- rekenen met spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid.

In de praktijk werk je meestal met weerstanden die een bepaalde vaste waarde hebben. Als je een andere weerstandswaarde wilt hebben, moet je weerstanden combineren.

Weerstanden combineren

Je kunt weerstanden op twee manieren combineren: in serie of parallel. Je maakt dan een **serieschakeling** of **parallelschakeling** (figuur 46).

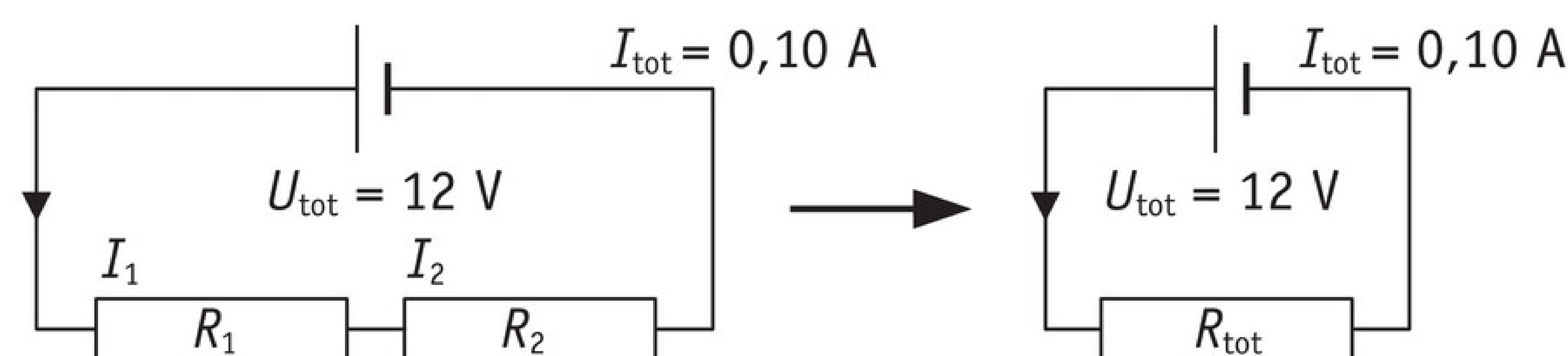


▲ **figuur 46** voorbeeld van een serieschakeling (a) en een parallelschakeling (b) en hun symbolen

Weerstanden worden met elkaar verbonden met verbindingsdraden. De weerstand van de verbindingsdraden is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de waarde van de weerstand. Daarom wordt de verbindingsdraad niet als een weerstand getekend.

Serieschakeling

In een serieschakeling wordt bij het toevoegen van een weerstand de totale weerstand groter. Want als je twee weerstanden in serie schakelt, schakel je in feite twee draden in serie. De weerstand neemt dus toe doordat de draad een grotere lengte krijgt. Om in een serieschakeling de totale weerstand uit te rekenen, tel je de weerstanden bij elkaar op: $R_{tot} = R_1 + R_2 + \ldots$
De **totale weerstand R_{tot}** wordt ook wel de **vervangingsweerstand** genoemd. De totale weerstand is de weerstand waarbij dezelfde stroom loopt als in de oorspronkelijke schakeling, zoals te zien is in figuur 47.



▲ **figuur 47** de totale weerstand van een serieschakeling

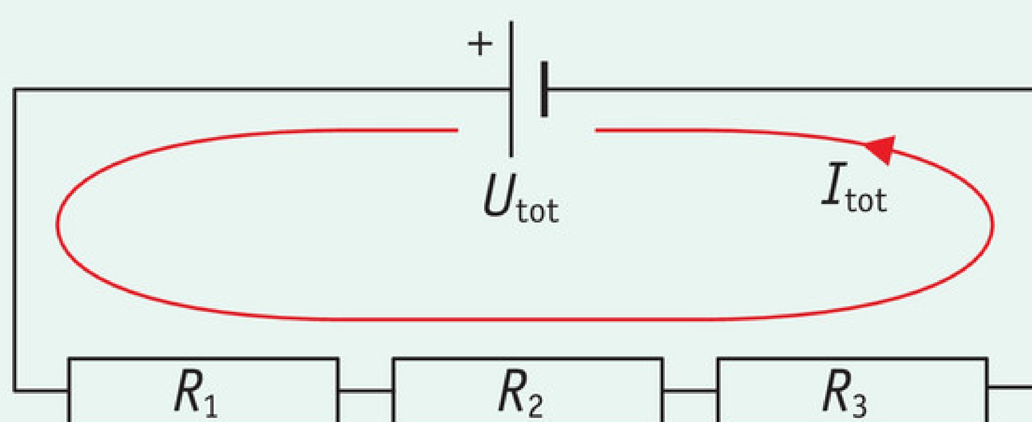
De stroom is door elke weerstand hetzelfde: $I_{tot} = I_1 = I_2 = \ldots$
Dit is te zien door de stroomkring te tekenen, zoals bijvoorbeeld in figuur 48. Om de stroomsterkte te berekenen, moet je de totale weerstand bepalen. De stroomsterkte is te berekenen door de spanning over de totale weerstand te delen door de berekende totale weerstand.

In figuur 48 is de spanning over de totale weerstand gelijk aan de spanning van de spanningsbron. Voor de berekening maakt de soort bron niets uit, alleen de waarde van de spanning is belangrijk. De waarde van bronspanning U_{bron} wordt de **totale spanning U_{tot}** genoemd. Om de stroom in een schakeling te berekenen, gebruik je $I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}}$

Door de weerstanden in serie te schakelen, treedt er een **spanningsdeling** op: elke weerstand krijgt een deel van de spanning. De spanning over elke weerstand is te berekenen met de wet van Ohm, door de berekende stroomsterkte te vermenigvuldigen met de waarde van de weerstand waarover je de spanning wilt weten. De spanning over alle weerstanden samen is vervolgens weer gelijk aan de spanning van de bron: $U_{tot} = U_1 + U_2 + \ldots$

Voorbeeldopgave 9

Michiel heeft drie verschillende weerstanden. De waarde van de weerstanden is 10 Ω, 20 Ω en 30 Ω. De weerstanden sluit hij in serie aan op een batterij van 4,5 V (figuur 48).



▲ **figuur 48** schema van een serieschakeling van drie weerstanden en een batterij

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de stroomsterkte door elke weerstand in mA.
c Bereken de spanning over elke weerstand.

Uitwerking

a De totale weerstand is te berekenen met $R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 20 + 30 = 60$ Ω.
b De spanning van de batterij is $U_{tot} = 4{,}5$ V. De totale weerstand is $R_{tot} = 60$ Ω.
De stroomsterkte wordt berekend met de wet van Ohm:

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I_{tot}} \rightarrow I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}} = \frac{4{,}5}{60} = 0{,}075 \text{ A} = 75 \text{ mA}$$

c De stroomsterkte is door elke weerstand hetzelfde: $I_{tot} = I_1 = I_2 = I_3 = 0{,}075$ A.
De spanning over elke weerstand wordt berekend met de wet van Ohm:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \rightarrow U_1 = I_1 \cdot R_1 = 0{,}075 \times 10 = 0{,}75 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \rightarrow U_2 = I_2 \cdot R_2 = 0{,}075 \times 20 = 1{,}5 \text{ V}$$

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} \rightarrow U_3 = I_3 \cdot R_3 = 0{,}075 \times 30 = 2{,}3 \text{ V}$$

Je kunt U_3 ook berekenen met: $U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3$

Parallelschakeling

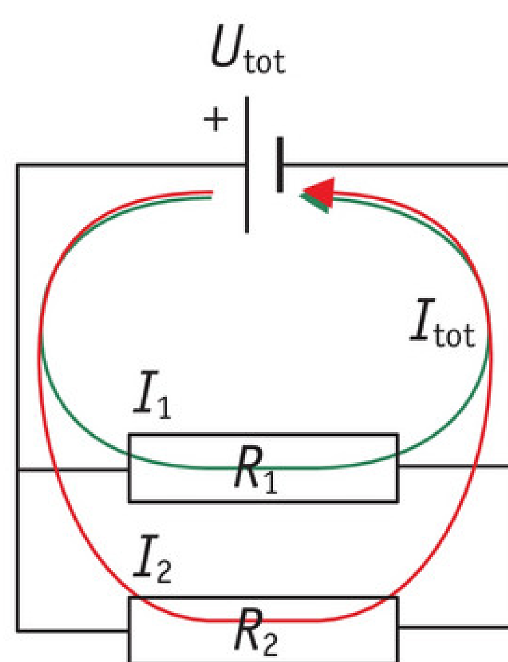
Door weerstanden parallel te schakelen, neemt de weerstand af en de geleidbaarheid toe. Want als je twee weerstanden parallel schakelt, schakel je in feite twee draden parallel. Deze kun je opvatten als één draad met een 2× zo grote doorsnede. In een parallelschakeling bereken je de totale geleidbaarheid door de geleidbaarheid van de weerstanden bij elkaar op te tellen: $G_{tot} = G_1 + G_2 + \dots$

Je krijgt dan de **totale geleidbaarheid G_{tot}**. De totale weerstand vind je dan door 1 te delen door de totale geleidbaarheid: $R_{tot} = \dfrac{1}{G_{tot}}$

In een parallelschakeling is de spanning over elke weerstand gelijk aan de spanning van de bronspanning: $U_{tot} = U_1 = U_2 = \dots$

Bij de parallelschakeling treedt een **stroomdeling** op. De stroomsterkte afkomstig van de bron verdeelt zich over de weerstanden zoals te zien is in figuur 49. De totale stroomsterkte afkomstig uit de batterij is de som van de stroomsterkte door elke weerstand: $I_{tot} = I_1 + I_2 + \dots$

Vandaar dat je ook twee stroomsterktepijlen ziet bij de batterij in figuur 49.



▲ **figuur 49** schema van een parallelschakeling van twee weerstanden en een batterij

Voorbeeldopgave 10

Gerda heeft twee weerstanden, een van 30 Ω en een van 60 Ω. Ze sluit deze parallel aan op een batterij van 6,0 V zoals in figuur 49.

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de spanning over elke weerstand.
c Bereken de stroomsterkte door elke weerstand in mA.

Uitwerking

a De totale weerstand wordt berekend met de volgende formules:

$$G_{tot} = G_1 + G_2 = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60} = 0{,}050 \text{ S}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{G_{tot}} = \frac{1}{0{,}050} = 20 \ \Omega$$

b De spanning over elke weerstand is gelijk aan de batterijspanning: $U_{tot} = U_1 = U_2 = 6{,}0$ V.

c De stroomsterkte door elke weerstand wordt berekend met de wet van Ohm:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{6{,}0}{30} = 0{,}20 = 2{,}0 \cdot 10^2 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6{,}0}{60} = 0{,}10 \text{ A} = 1{,}0 \cdot 10^2 \text{ mA}$$

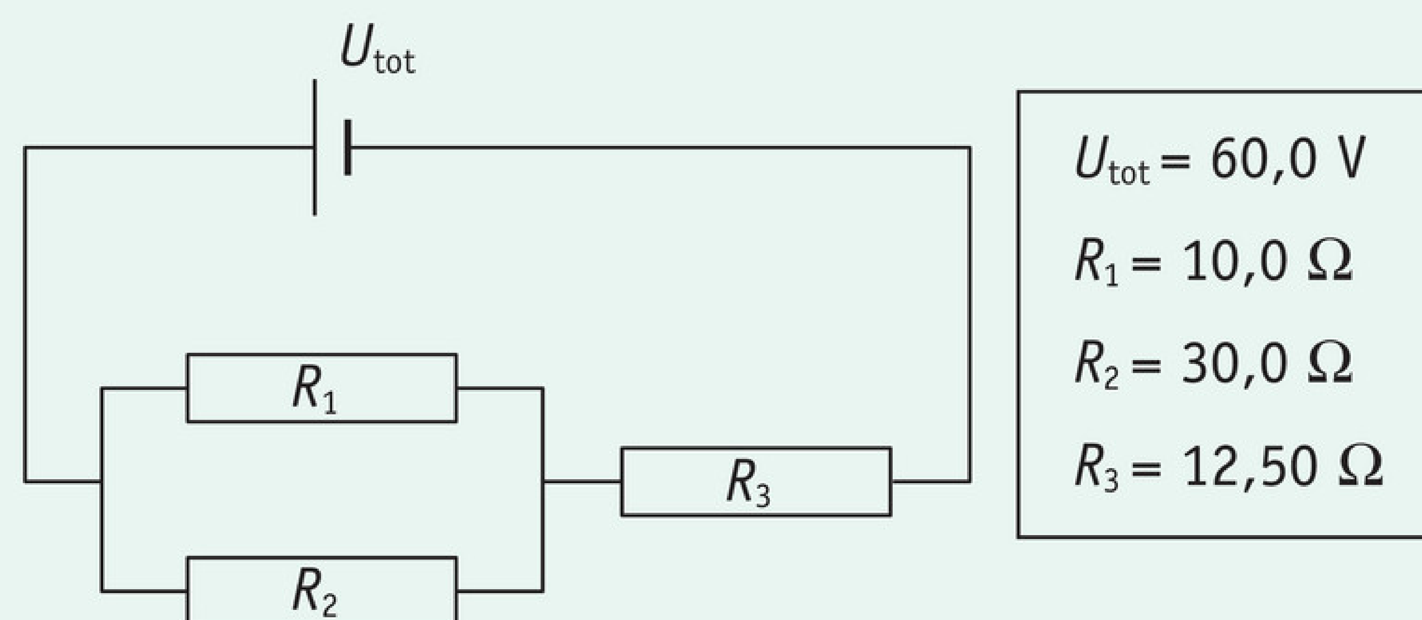
Je kunt I_2 ook berekenen met: $I_{tot} = I_1 + I_2$

Gemengde schakeling

Een schakeling waarbij serie en parallel worden gecombineerd, heet een **gemengde schakeling** (figuur 50). Bij vraagstukken over een gemengde schakeling bereken je stap voor stap de totale weerstand. Bij elke stap is het handig om een tekening te maken van de schakeling. Daarna bereken je de totale stroom met de formule $I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}}$

Voorbeeldopgave 11

In figuur 50 is een gemengde schakeling getekend.



▲ **figuur 50** schema van een gemengde schakeling

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de totale stroom I_{tot}.
c Bereken de spanning over weerstand R_3.
d Bereken de deelstromen I_1 en I_2.

Weerstand R_1 wordt uit de schakeling verwijderd.
e Leg uit of de totale stroom I_{tot} die de spanningsbron dan levert (opgave b), kleiner of groter wordt of gelijk blijft.

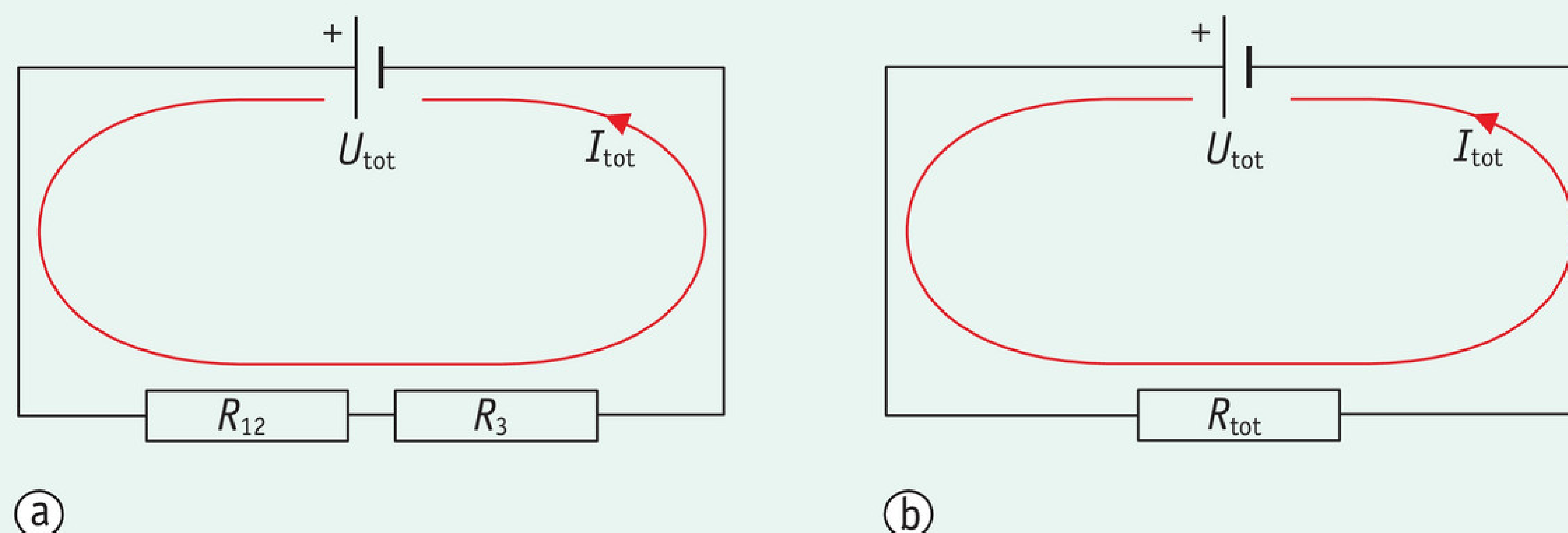
Uitwerking

a Je berekent stap voor stap de totale weerstand. Daarvoor bereken je eerst de totale weerstand van de twee parallel geschakelde weerstanden R_1 en R_2.

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{10{,}0} + \frac{1}{30{,}0} = \frac{3}{30{,}0} + \frac{1}{30{,}0} = \frac{4}{30{,}0}\ \Omega^{-1}$$

Hieruit volgt: $R_{12} = \frac{30{,}0}{4} = 7{,}50\ \Omega$

De schakeling is nu vereenvoudigd tot de schakeling in figuur 51a.



▲ **figuur 51** Bepaal de totale weerstand.

De volgende stap is het berekenen van de totale weerstand van de twee in serie geschakelde weerstanden R_{12} en R_3. Je krijgt dan de schakeling uit figuur 51b.
$R_{tot} = R_{12} + R_3 = 7{,}50 + 12{,}50 = 20{,}00\ \Omega$

b De totale stroomsterkte bereken je met de schakeling uit figuur 51b:

$$I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}} = \frac{60{,}0}{20{,}00} = 3{,}00\ \text{A}$$

c Voor het berekenen van de spanning over R_3 moet je weten wat de waarde van R_3 en de stroomsterkte door R_3 is. De stroomsterkte door R_3 is gelijk aan de totale stroomsterkte zoals te zien in figuur 51a. De waarde van R_3 is gegeven. Je kunt de spanning U_3 nu uitrekenen met de formule van Ohm:
$U_3 = I_3 \cdot R_3 = 3{,}00 \times 12{,}50 = 37{,}5\ \text{V}$

d De deelstromen kun je berekenen met de formule van Ohm. Maar eerst moeten de spanningen over R_1 en R_2 worden bepaald. De spanning over R_1 is gelijk aan de spanning over R_{12}. Van de bronspanning staat een deel over R_3 en de rest over de parallelschakeling van R_1 en R_2. Over de parallelschakeling staat dus 60,0 – 37,5 = 22,5 V spanning. Bij een parallelschakeling staat over de weerstanden dezelfde spanning, dus $U_1 = U_2 = 22{,}5$ V.
Nu de spanningen en de weerstanden bekend zijn, kunnen met behulp van de formule van Ohm de deelstromen worden berekend:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{22{,}5}{10{,}0} = 2{,}25\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{22{,}5}{30{,}0} = 0{,}75\ \text{A}$$

e Voordat R_1 wordt verwijderd, is de totale weerstand van de schakeling 20,00 Ω.
Nadat R_1 is verwijderd, is de totale weerstand van de schakeling:
$R_{tot} = R_2 + R_3 = 30{,}0 + 12{,}50 = 42{,}5\ \Omega$. De totale weerstand neemt dus door verwijdering van R_1 toe. Omdat de bronspanning gelijk blijft, is de totale stroom geleverd door de spanningsbron ($I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}}$) kleiner.

▶ **EXPERIMENT 3** Gemengde schakelingen

Onthoud!

- Bij een serieschakeling gelden de volgende formules:
  - $R_{tot} = R_1 + R_2$ + enzovoort
  - $I_{tot} = I_1 = I_2$ = enzovoort
  - $U_{tot} = U_1 + U_2$ + enzovoort
- Bij een parallelschakeling gelden de volgende formules:
  - $G_{tot} = G_1 + G_2$ + enzovoort
  - $I_{tot} = I_1 + I_2$ + enzovoort
  - $U_{tot} = U_1 = U_2$ = enzovoort
- Als je weerstanden in serie schakelt, wordt de totale weerstand groter. Als je weerstanden parallel schakelt, wordt de totale weerstand kleiner.
- Bij een gemengde schakeling bereken je eerst de totale weerstand. Daarna pas je de formule van Ohm toe op plaatsen waarover je genoeg gegevens hebt of je gebruikt de theorie van serie- en parallelschakelingen.

Opdrachten

41 Formules

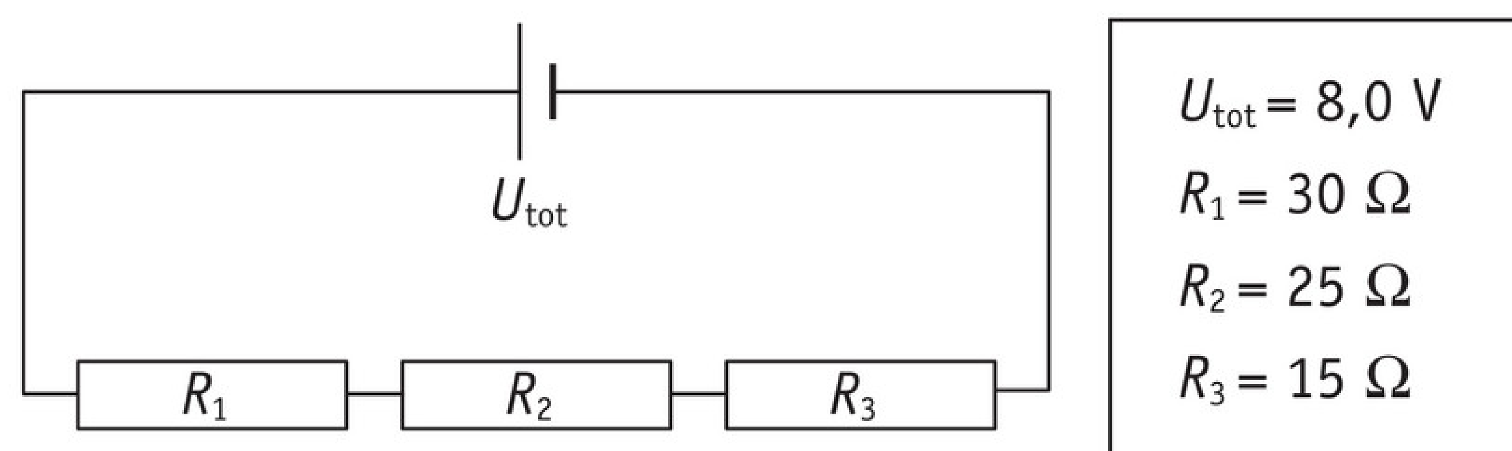
Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke formules bereken je de totale weerstand, de totale spanning en de totale stroomsterkte in een serieschakeling?

b Met welke formules bereken je de totale geleiding, de totale spanning en de totale stroomsterkte in een parallelschakeling?

42 Serieschakeling

Gegeven is de schakeling in figuur 52.



U_{tot} = 8,0 V
R_1 = 30 Ω
R_2 = 25 Ω
R_3 = 15 Ω

▲ **figuur 52** een serieschakeling

a Bereken de totale weerstand.

b Bereken de stroom door R_2.

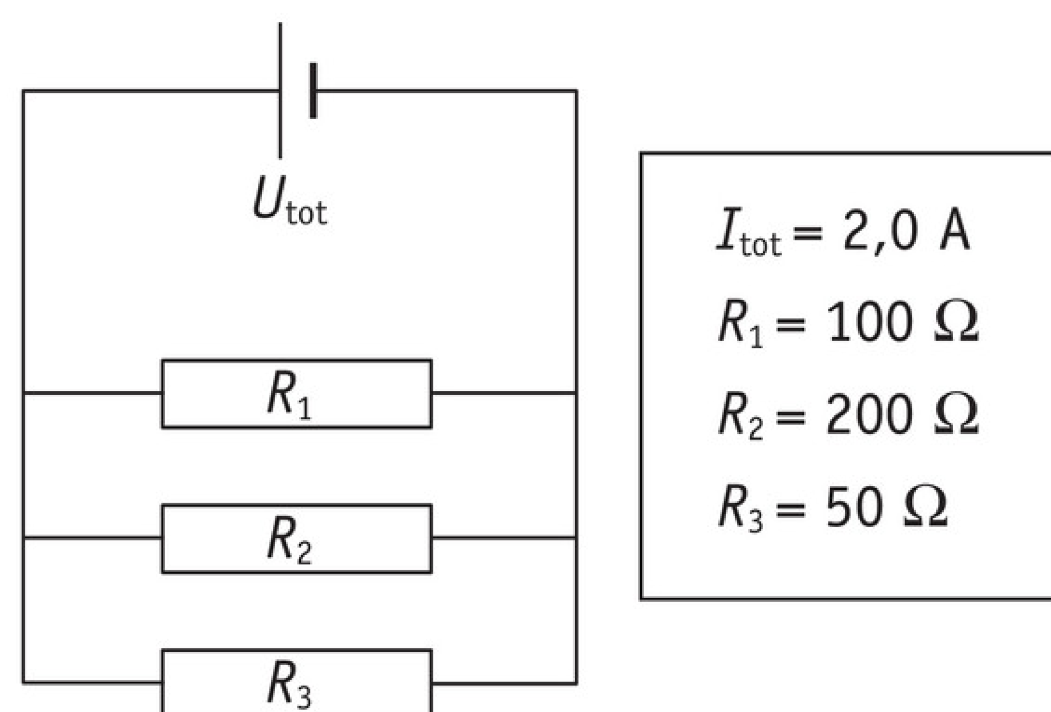
c Bereken de spanning over R_1.

d Bereken de totale geleidbaarheid.

e De weerstand R_1 wordt verwijderd uit de schakeling.
Leg uit of de totale geleidbaarheid dan kleiner of groter wordt of gelijk blijft.

43 Parallelschakeling

Gegeven is de schakeling in figuur 53.



I_{tot} = 2,0 A
R_1 = 100 Ω
R_2 = 200 Ω
R_3 = 50 Ω

▲ **figuur 53** een parallelschakeling

a Bereken de totale geleidbaarheid.

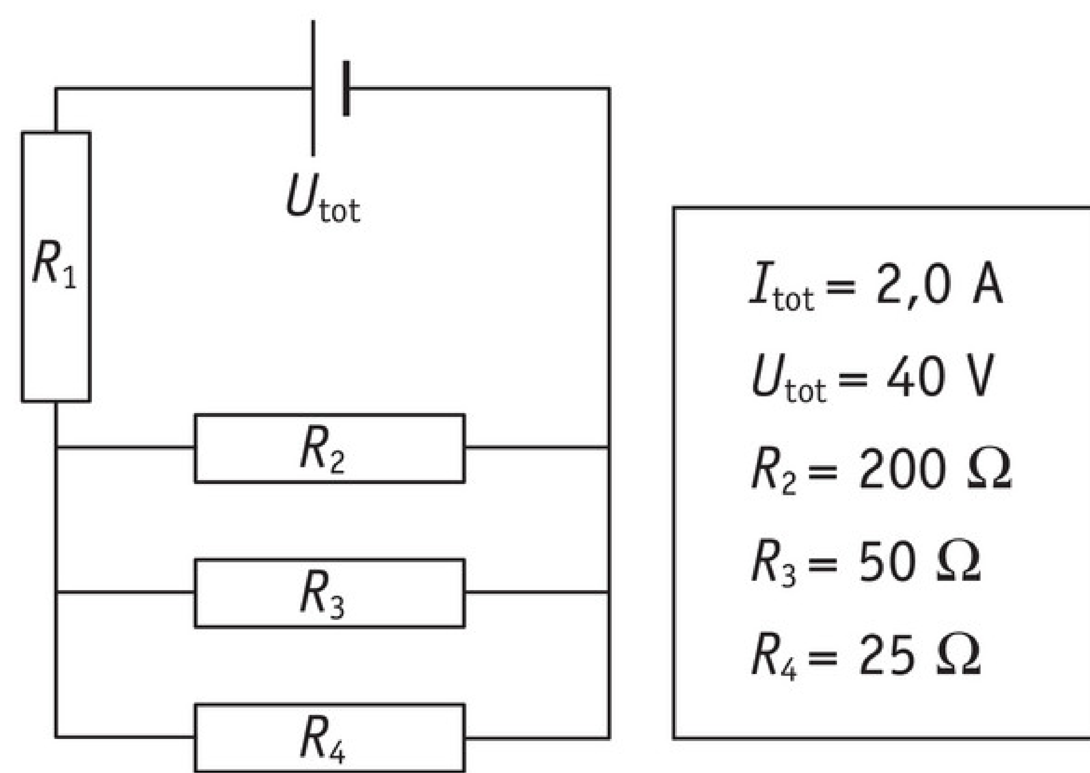
b Bereken de totale weerstand.

c Bereken de totale spanning.

d Bereken de stroom door R_2.

e De weerstand R_1 wordt verwijderd uit de schakeling.
Leg uit of de totale geleidbaarheid dan kleiner of groter wordt of gelijk blijft.

44 Gemengde schakeling [1]
Gegeven is de schakeling in figuur 54.

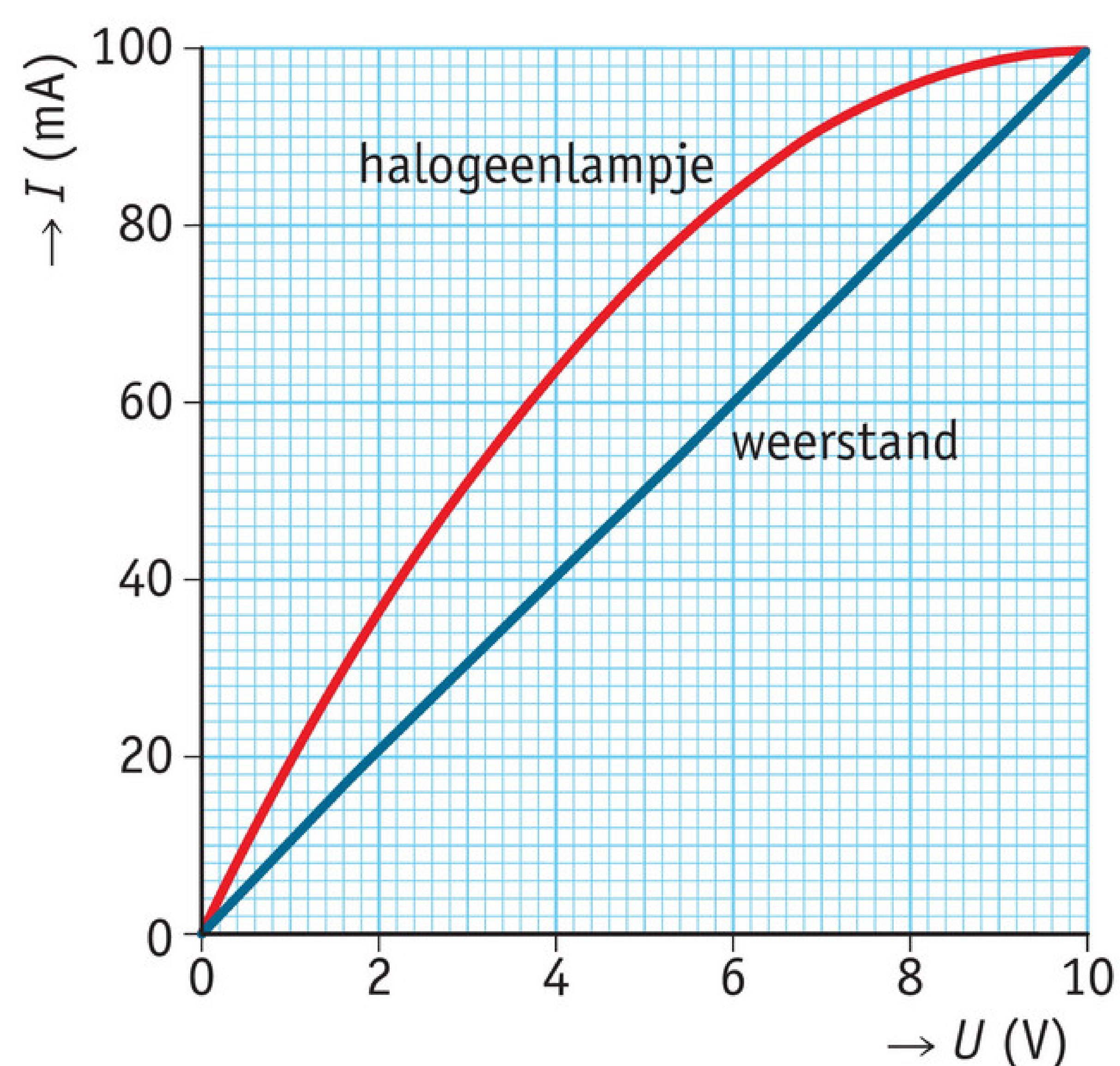


▲ **figuur 54** een gemengde schakeling

a Bereken de spanning over R_1.
b Bereken de spanning over R_2.
c Bereken de stroomsterkte door R_4.
d Bereken de totale geleidbaarheid.

De weerstand R_1 wordt verwijderd uit de schakeling.
e Leg uit of de totale geleidbaarheid dan kleiner of groter wordt of gelijk blijft.
f Leg uit of de totale stroom I_{tot} die de spanningsbron dan levert, kleiner of groter wordt of gelijk blijft.

45 Weerstand en halogeenlampje
Een weerstand en een halogeenlampje zijn parallel geschakeld aan een regelbare spanningsbron. Van beide componenten is een (I,U)-diagram gemaakt (figuur 55).

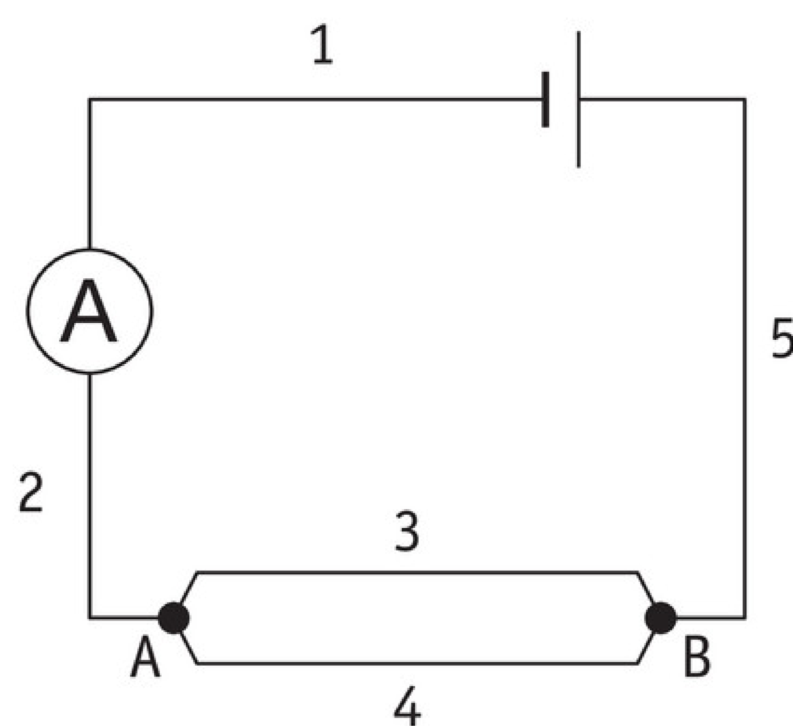


▲ **figuur 55** de (I,U)-karakteristiek van een weerstand en halogeenlampje

a Bepaal de stroomsterkte die de spanningsbron levert bij een spanning van 6,0 V als het halogeenlampje en de weerstand parallel geschakeld zijn aan de spanningsbron.
b Bepaal de stroomsterkte die de spanningsbron levert bij een spanning van 6,0 V als het halogeenlampje en de weerstand in serie geschakeld zijn met de spanningsbron.
c Bereken voor opdracht a en b hoe groot de totale geleidbaarheid en de totale weerstand zijn.

46 Kabelhaspel
Aan het uiteinde van een kabelhaspel (een oprolbaar snoer) met koperen aders ($d_{koperdraad}$ = 1,0 mm) worden vier dezelfde lampen parallel aangesloten. De andere kant wordt verbonden met een stopcontact (230 V). De weerstand van de totale kabelhaspel bedraagt 0,40 Ω. Aan het uiteinde van de kabelhaspel wordt met een spanningsmeter 228 V gemeten.
a Teken de schakeling en geef daarin duidelijk aan waar de spanningsmeter, de lampen en het stopcontact zijn.
b Bereken de lengte van het snoer op de kabelhaspel.
c Bereken de weerstand van één lamp.

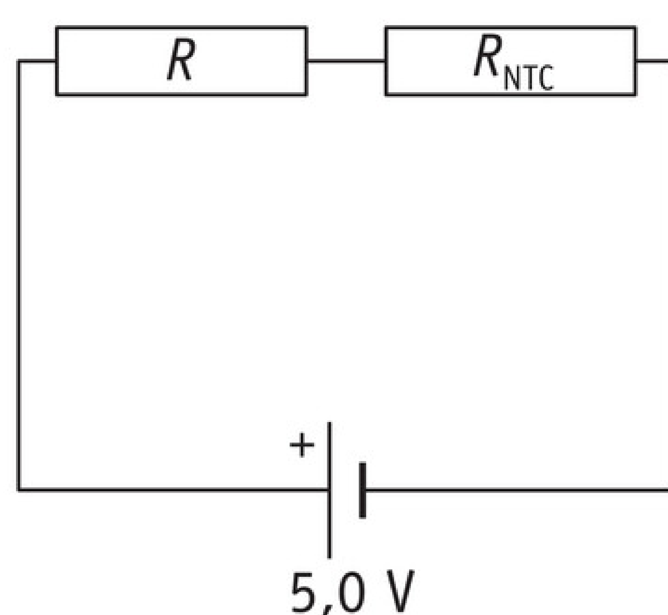
47 Koperen snoeren
Tijdens een natuurkundepracticum werkt François met koperen snoeren die elk een doorsnede van 0,25 mm^2 en een weerstand van 0,041 Ω hebben.
a Bereken de lengte van een snoer.
b Met vijf snoeren bouwt François de elektrische schakeling van figuur 56. Hij stelt de spanningsbron in op 1,2 V.



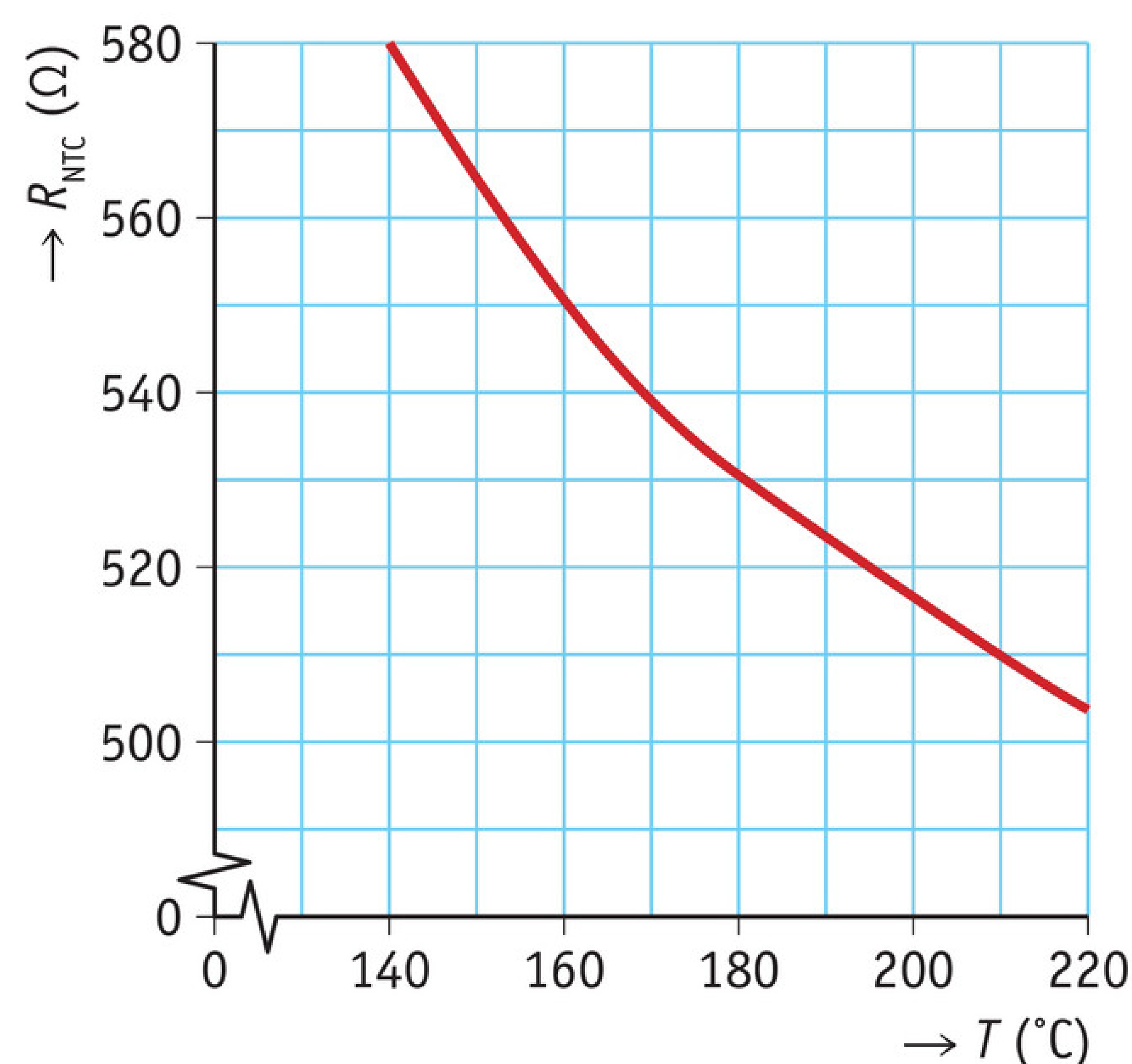
▲ **figuur 56** de elektrische schakeling van François

Bereken de stroomsterkte die de stroommeter aanwijst.
c François sluit over punt A en B een spanningsmeter aan.
Bereken de spanning die de spanningsmeter aanwijst.

48 Oven
Om de temperatuur in een oven constant te houden, wordt gebruikgemaakt van een NTC-weerstand. De NTC-weerstand wordt met een weerstand *R* in serie geschakeld (figuur 57). Je ziet het (*R*,*T*)-diagram van de NTC-weerstand in figuur 58. Bij een temperatuur van 210 °C is de spanning over weerstand *R* 1,5 V.
a Bepaal de weerstand van *R*.
b Leg uit dat de spanning over weerstand *R* stijgt als de temperatuur stijgt.

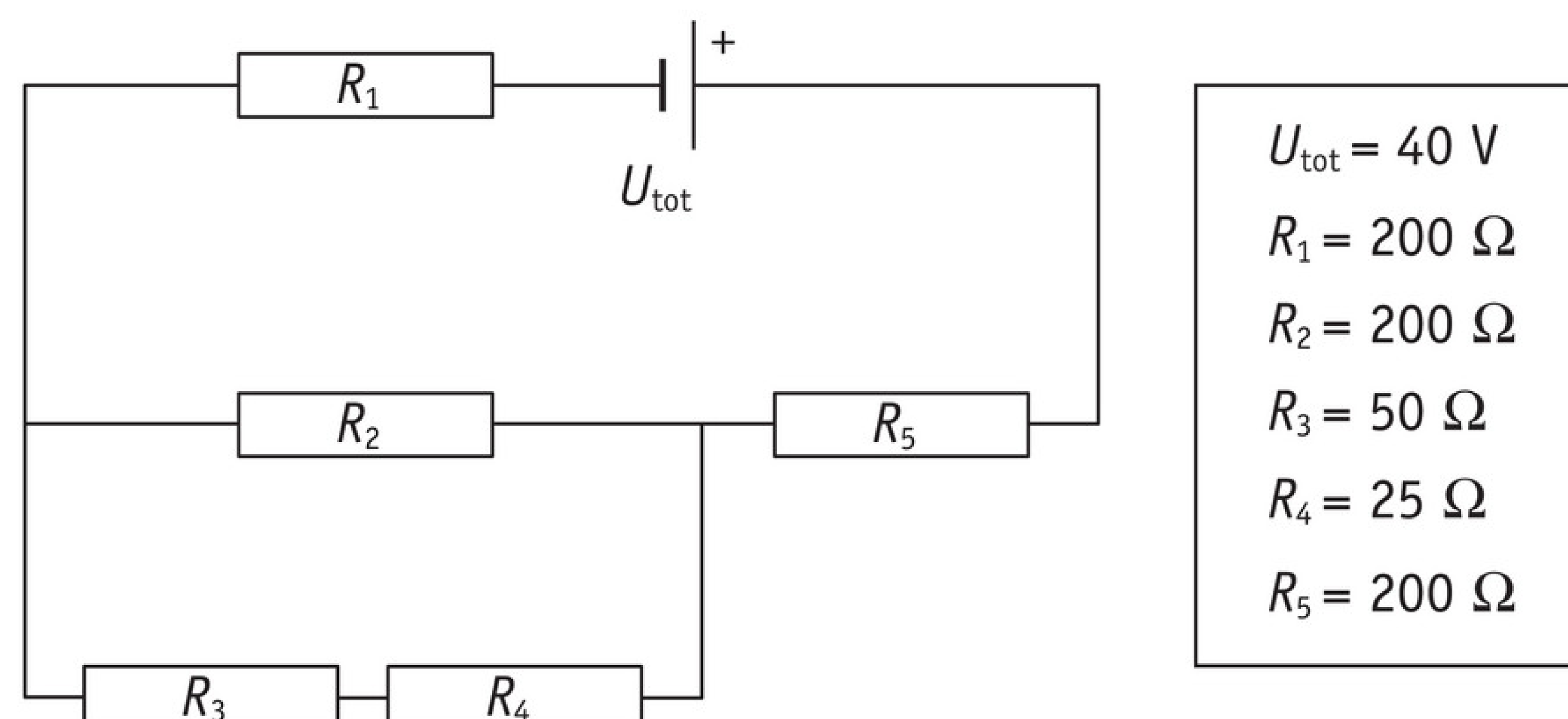


▲ **figuur 57** de elektrische schakeling



▶ **figuur 58** de (*R*,*T*)-karakteristiek van de NTC-weerstand

+49 Gemengde schakeling [2]
Gegeven is de schakeling in figuur 59.



▲ **figuur 59** een gemengde schakeling

a Bereken de totale weerstand.
b Bereken de stroomsterkte door R_3.
c Bereken de spanning over R_4.
d Bereken de stroomsterkte door R_5.

7 Elektriciteit in huis

In deze paragraaf leer je:
- warmteontwikkeling ten gevolge van stroom kennen;
- de begrippen ‘overbelasting’ en ‘kortsluiting’ kennen;
- de werking van een transformator kennen.

Achter stopcontacten, of wandcontactdozen zoals ze officieel heten, bevindt zich een netwerk van elektriciteitsdraden. Om te voorkomen dat er brand of andere gevaarlijke situaties ontstaan, is de elektrische installatie in huis goed beveiligd.

Warmteontwikkeling

De weerstand van een elektriciteitsdraad hangt af van de dikte, de lengte en het materiaal waarvan de draad is gemaakt. Voor elektriciteitsdraden wordt vooral koperdraad gebruikt, omdat koper een kleine soortelijke weerstand heeft, kleiner dan bijvoorbeeld ijzer. Als er stroom door een elektriciteitsdraad gaat, wordt de draad warm. Dit komt doordat de elektronen die door de draad gaan, hinder (weerstand) ondervinden. Om uit te rekenen hoeveel elektrische energie er in de koperdraad per seconde in warmte wordt omgezet, moet je weten hoe groot de spanning *over* de draad en de stroomsterkte *door* de draad is.

De elektrische energie die per seconde in warmte wordt omgezet, is het **elektrisch vermogen**. Dit kun je berekenen met de formule:

$P = U \cdot I$

Hierin is:
- P het vermogen van het apparaat in voltampère (V A); dat is gelijk aan watt (W);
- U de spanning over het apparaat in volt (V);
- I de stroomsterkte door het apparaat in ampère (A).

De spanning over de draad kun je uitrekenen als je weet hoe groot de weerstand van de draad en de stroomsterkte door de draad zijn ($U = I \cdot R$).

Overbelasting

Alle stopcontacten en lichtpunten thuis zijn parallel geschakeld. Dit betekent dat over elk stopcontact en lichtpunt een spanning van 230 V staat. Als er te veel elektrische apparaten tegelijk aanstaan, kan de stroom door een draad in de leidingen te groot worden: de draad is **overbelast**. De draad gaat dan als gevolg van de ontwikkelde warmte gloeien. Hierdoor kan het isolerende materiaal om de draad vlam vatten. Als de stroomdraad zich in een elektriciteitsbuis in een muur bevindt, ontstaat er een gevaarlijke situatie: je kunt de brand in het begin nog niet zien, alleen ruiken. Na verloop van tijd vat het isolatiemateriaal in de muur vlam en kan het vuur overslaan op andere brandbare materialen. Het blussen van een dergelijke brand is moeilijk, omdat de brandhaard slecht bereikbaar is.
Overbelasting kan dus heel gevaarlijk zijn. Om de overbelasting zo kort mogelijk te laten duren, worden er zekeringen opgenomen in elektrische schakelingen. Een **zekering** schakelt de stroom uit als de stroom door de zekering groter wordt dan een vooraf ingestelde waarde. Zekeringen vind je in verschillende apparaten, zoals in een autolader van een telefoon (figuur 60), maar ook thuis in de meterkast.



▲ **figuur 60** een telefoonlader voor de auto

De meterkast

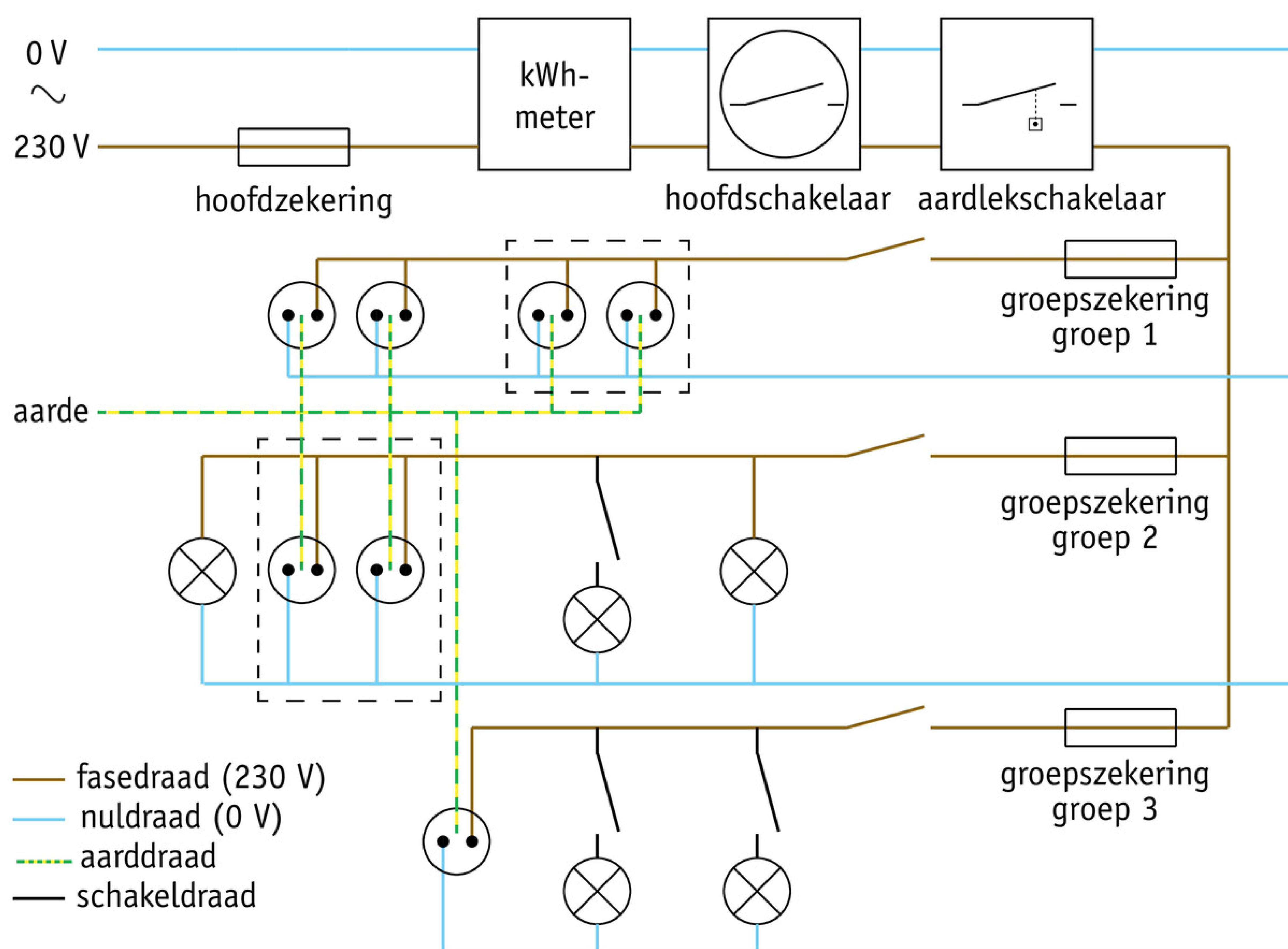
Elk huis heeft een meterkast. In de meterkast bevinden zich de aansluitingen en meters van de nutsvoorzieningen. Nutsvoorzieningen zijn bedrijven die iets produceren, of diensten leveren van algemeen nut. Daaronder vallen bijvoorbeeld telefonie, kabel, glasvezel, elektriciteit, water en gas.

Met een kilowattuurmeter (kWh-meter) wordt de hoeveelheid omgezette elektrische energie gemeten. De kWh-meter is vaak een dubbele meter: een dag- en nachtmeter. 's Nachts wordt er minder elektrische energie verbruikt dan overdag. Om mensen te stimuleren de wasmachine of vaatwasser 's nachts te laten werken, is er voor de nacht een goedkoper tarief. Zo zijn de schommelingen in het energieverbruik minder groot. In figuur 61 zie je een analoge en een digitale kWh-meter.



▲ **figuur 61** een analoge kWh-meter (a) en een digitale kWh-meter (b)

Naast de kWh-meter zijn er in de meterkast achtereenvolgens een hoofdschakelaar, een aardlekschakelaar, groepszekeringen en groepsschakelaars te vinden. In figuur 62 zie je hoe de verschillende componenten met elkaar verbonden zijn. De hoofdzekering werkt net als een gewone zekering, maar als de hoofdzekering stuk is, moet iemand van de energiemaatschappij langskomen om deze te vervangen. Dit geldt ook voor de kWh-meter. Beide apparaten zijn voorzien van een veiligheidsloodje aan een touwtje, dat moet worden verbroken om de componenten te vervangen. Die loodjes zijn geplaatst om te voorkomen dat er wordt gefraudeerd met meterstanden of dat er illegaal energie wordt afgetapt. Met de hoofdschakelaar schakel je alle elektriciteit in huis uit.



▲ **figuur 62** voorbeeld van een schakelschema in huis

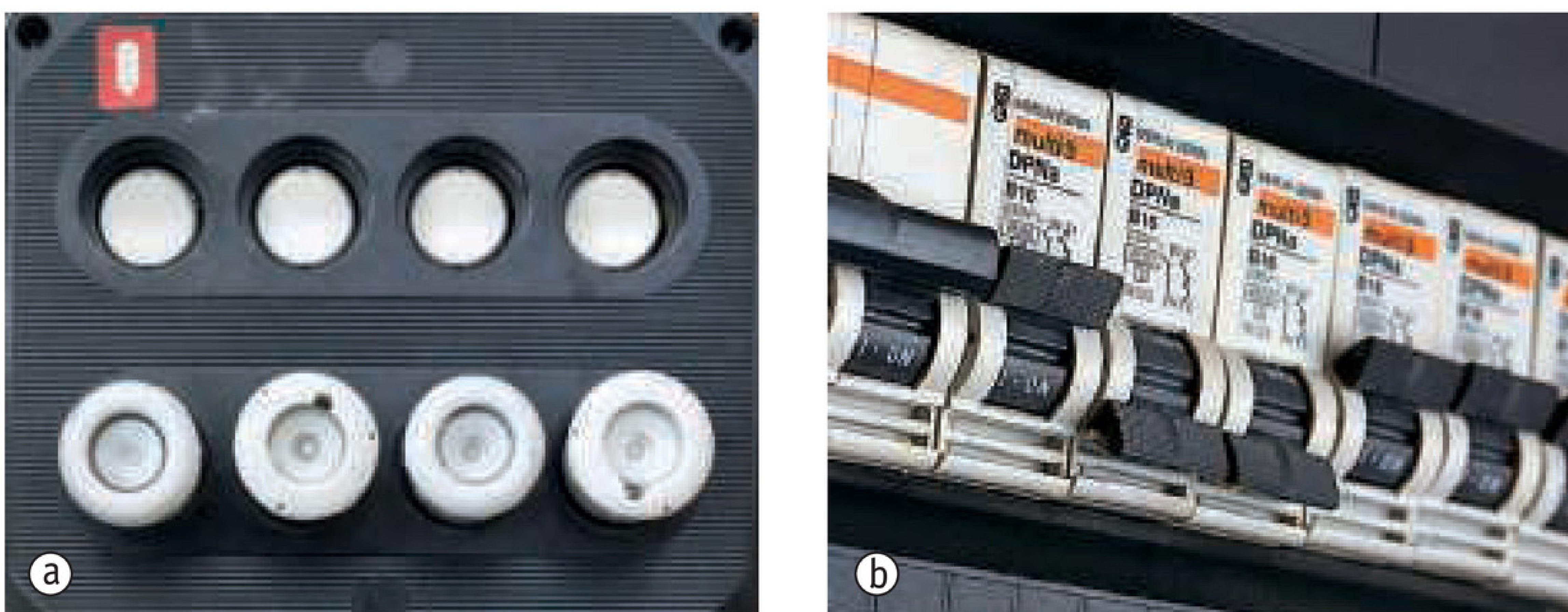
Voorbij de hoofdschakelaar is de aardlekschakelaar geïnstalleerd. De **aardlekschakelaar** registreert of de stroomsterkten in de aan- en afvoerende draad aan elkaar gelijk zijn. Een verschil betekent dat er ergens stroom 'weglekt'. De aardlekschakelaar onderbreekt het stroomcircuit als het verschil groter is dan 30 mA. Een aardlekschakelaar zie je in figuur 63.



▲ **figuur 63** een aardlekschakelaar

Groepen

Na de aardlekschakelaar vertakt het stroomcircuit in huis zich in verschillende groepen. Elke groep bevat een zekering met een groepsschakelaar. In oudere installaties bevinden zich glas- of smeltzekeringen (figuur 64a). Zo'n zekering smelt als de stroom die erdoor gaat, te groot wordt. Nieuwere installaties maken gebruik van automatische zekeringen (figuur 64b). Als die automaat een te grote stroom detecteert, schakelt deze de spanning af.

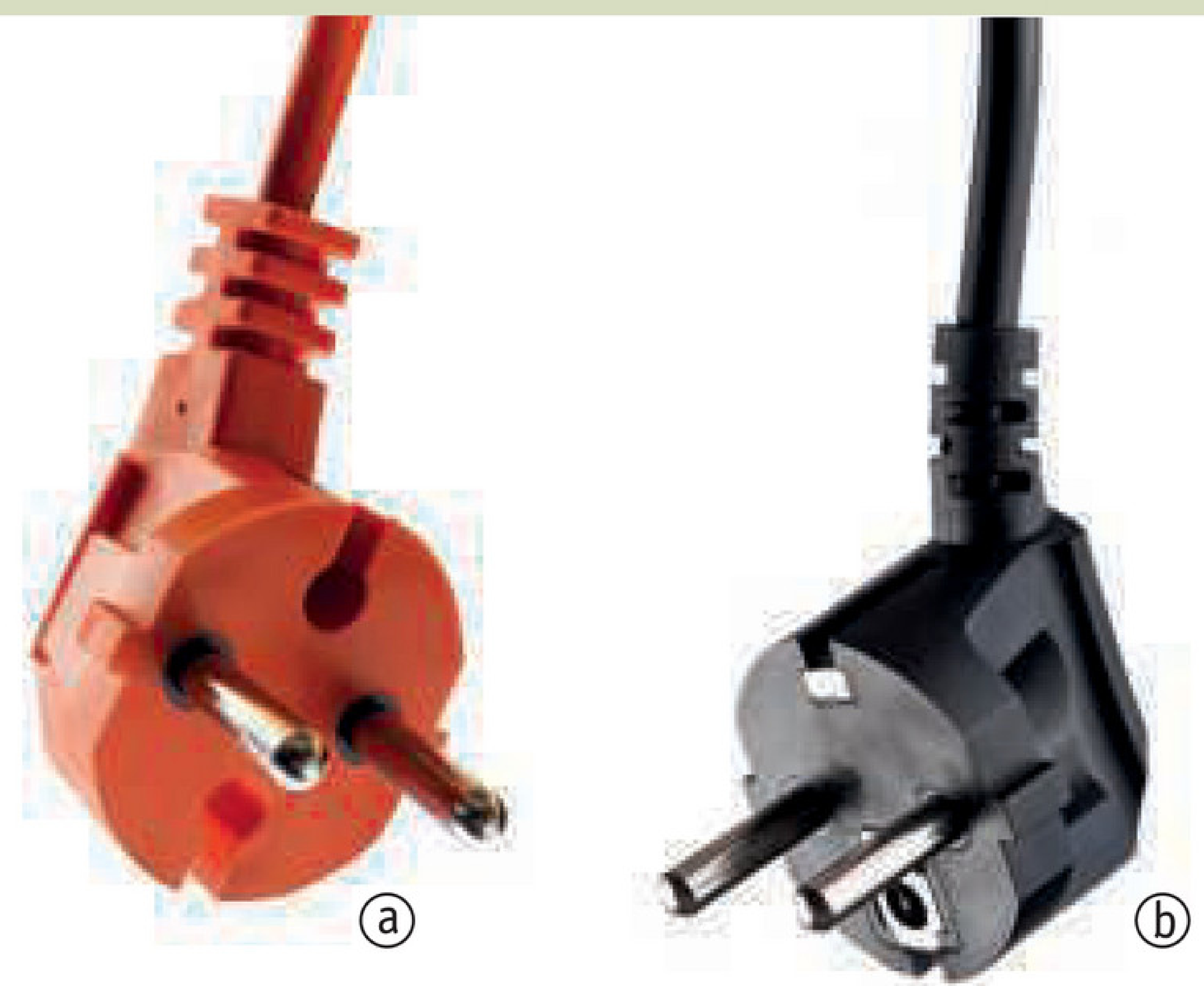


▲ **figuur 64** een smeltzekering met aparte schakelaar (a) en een automatische zekering (b)

Het werken met groepen heeft een aantal voordelen. Als de elektriciteit in een bepaalde groep wordt uitgeschakeld door de groepszekering, is er in de rest van het huis nog wel elektriciteit. En als je in de keuken een nieuwe lamp wilt ophangen, schakel je alleen de groep van de keuken uit. Je moet er dan wel zeker van zijn dat je de juiste groepsschakelaar kiest.

Om te controleren of er nog spanning staat op de draden die naar de lamp gaan, maak je gebruik van een spanningzoeker. Dit is een soort schroevendraaier met een lampje in het handvat die je tegen de elektriciteitsdraad houdt. Als er spanning op de draad staat, gaat het lampje in de schroevendraaier branden. Op dat moment lekt er stroom weg via jouw lichaam naar de aarde. Doordat deze stroom kleiner is dan 30 mA, grijpt de aardlekschakelaar niet in. De stroom is zo klein dat je er niets van merkt en er geen schade van ondervindt. Controleer altijd eerst of de spanningzoeker werkt in een functionerend stopcontact.

Apparaten met een metalen behuizing, met bewegende delen of met elektrische onderdelen die in aanraking kunnen komen met water, hebben meestal een stekker met randaarde (figuur 65b). De randaarde zijn de metalen strips aan de buitenzijde van de stekker.



▶ **figuur 65** een stekker zonder randaarde (a) en een stekker met randaarde (b)

Bij een apparaat met een metalen behuizing wordt de randaarde van de stekker verbonden met de behuizing. Als door een fout in het apparaat de stroomdraad in contact komt met de metalen behuizing, komt de behuizing maar kortstondig onder spanning te staan. De aardlekschakelaar grijpt namelijk in zodra er een bepaalde hoeveelheid stroom weglekt. Doordat de weerstand in dit geval erg klein is, wordt de lekstroom heel groot. Dit biedt een extra zekerheid. Mocht de aardlekschakelaar onverwachts niet ingrijpen, dan zal uiteindelijk de zekering de stroomkring verbreken. De zekering is echter trager dan de aardlekschakelaar, dus 'wint' de aardlekschakelaar meestal.

Een zekering verbreekt de stroomkring niet alleen bij overbelasting, maar ook bij kortsluiting. **Kortsluiting** ontstaat als stroom een andere weg kan nemen, met een weerstand van bijna nul ohm. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als de isolatielaag om twee stroomdraden beschadigd is, waardoor de draden contact maken (figuur 66).



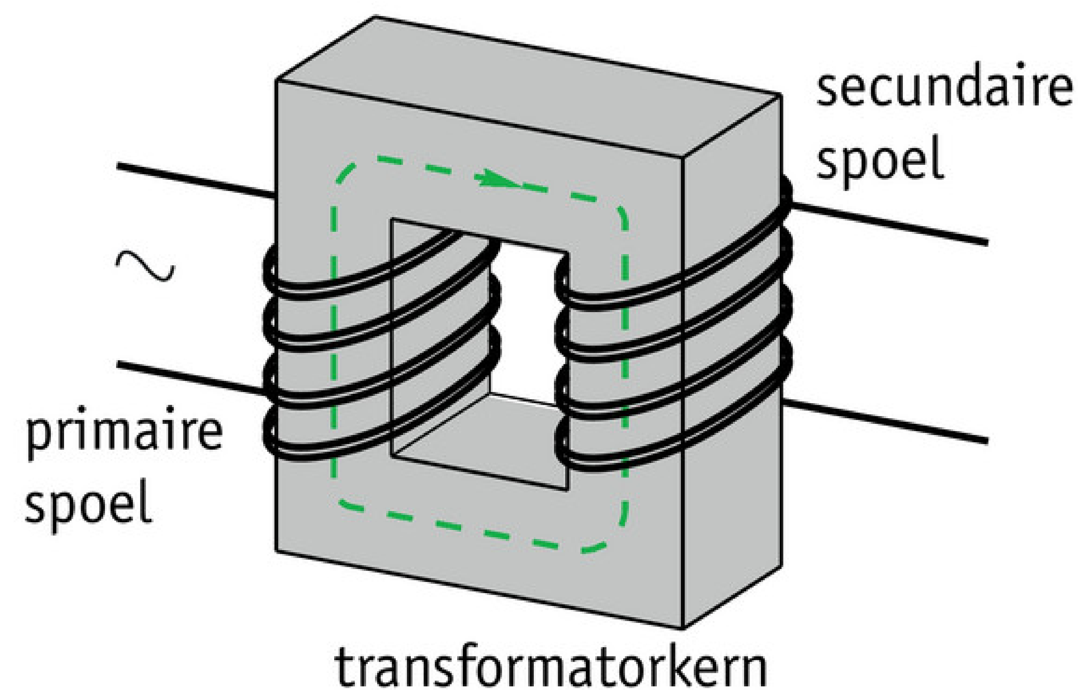
▲ **figuur 66** Als je deze kabel gebruikt, ontstaat er kortsluiting.

Transformator

In tegenstelling tot de gelijkspanning van een batterij, accu of zonnepaneel levert het stopcontact een wisselspanning. Voor veel apparaten maakt het niets uit of ze op een wisselspanning van 230 V werken (netspanning) of op een even grote gelijkspanning. Een waterkoker bijvoorbeeld produceert in beide gevallen evenveel warmte. Maar voor sommige elektrische apparaten in huis is de spanning van het lichtnet te hoog, zoals voor een deurbel of voor een bureaulamp met een halogeenlampje.
Wisselspanning heeft als voordeel dat deze met behulp van een transformator op elke gewenste waarde kan worden gebracht.

Een transformator bestaat uit een metalen kern waaromheen twee of meer spoelen zijn gewikkeld. Een spoel is een draad die in een of meer cirkels is gewikkeld. Het aantal wikkelingen noem je het aantal **windingen** van de spoel.

Een schematische weergave van een transformator zie je in figuur 67. Een wisselspanningsbron wordt aangeduid met een golfje (~). De spoel die is aangesloten op de wisselspanningsbron, noem je de **primaire spoel**. De andere spoel is de **secundaire spoel**. De spanning die de secundaire spoel afgeeft, hangt af van de verhouding van de wikkelingen die zich in de primaire en secundaire spoel bevinden. Afhankelijk van die verhouding kan de afgegeven spanning worden verhoogd of verlaagd ten opzichte van de ingaande spanning.



▲ **figuur 67** een transformator

Onthoud!

- Een kWh-meter meet het elektrisch energieverbruik.
- Als er stroom door een draad gaat, wordt deze warm. Dit komt doordat de elektronen die door de draad gaan weerstand ondervinden.
- Een zekering schakelt de stroom uit als de stroom door de zekering groter wordt dan een ingestelde waarde.
- De aardlekschakelaar controleert of de stroom in de heen- en teruggaande draden aan elkaar gelijk is en schakelt de spanning af als dit niet het geval is.
- Bij kortsluiting wordt de stroomsterkte te groot, doordat stroom een weg neemt zonder noemenswaardige weerstand.
- Met een transformator kun je de hoogte van een wisselspanning veranderen.

Opdrachten

50 Elektriciteit in huis
Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Leg uit hoe een zekering werkt.
- **b** Wat is het verschil tussen kortsluiting en overbelasting?
- **c** Waarom wordt een draad warm als er een stroom doorheen gaat?
- **d** Wat is de functie van een transformator?
- **e** Leg uit wat er gebeurt als je een schakelaar parallel schakelt aan het stopcontact en de schakelaar vervolgens sluit.

51 Weerstand
Beantwoord de volgende vragen.
- **a** De hoeveelheid warmte die per seconde ontstaat, is gelijk aan $P = I^2 \cdot R$.
  Leid dit af met behulp van de formule van Ohm en de formule van vermogen.
- **b** Als je een kabelhaspel als verlengsnoer gebruikt, is het belangrijk om deze helemaal af te rollen.
  Leg uit waarom.
- **c** Leg uit dat de totale weerstand steeds kleiner wordt naarmate je meer weerstanden parallel aansluit op het stopcontact.

52 Telefoonlader

Op de lader van je mobiele telefoon staat op het typeplaatje: 5,0 V; 0,70 A. Dit is de spanning en stroom waarmee een mobiele telefoon werkt.

a Bereken het vermogen dat de telefoonlader kan leveren.

b Van het lichtnet naar de oplader loopt een stroom.
Bereken de grootte van deze stroom, ervan uitgaande dat het vermogen gelijk is aan dat van de telefoon.

c Wat kun je zeggen over het verband tussen stroomsterkte en spanning bij een gelijkblijvend vermogen?

53 Koffiezetapparaat

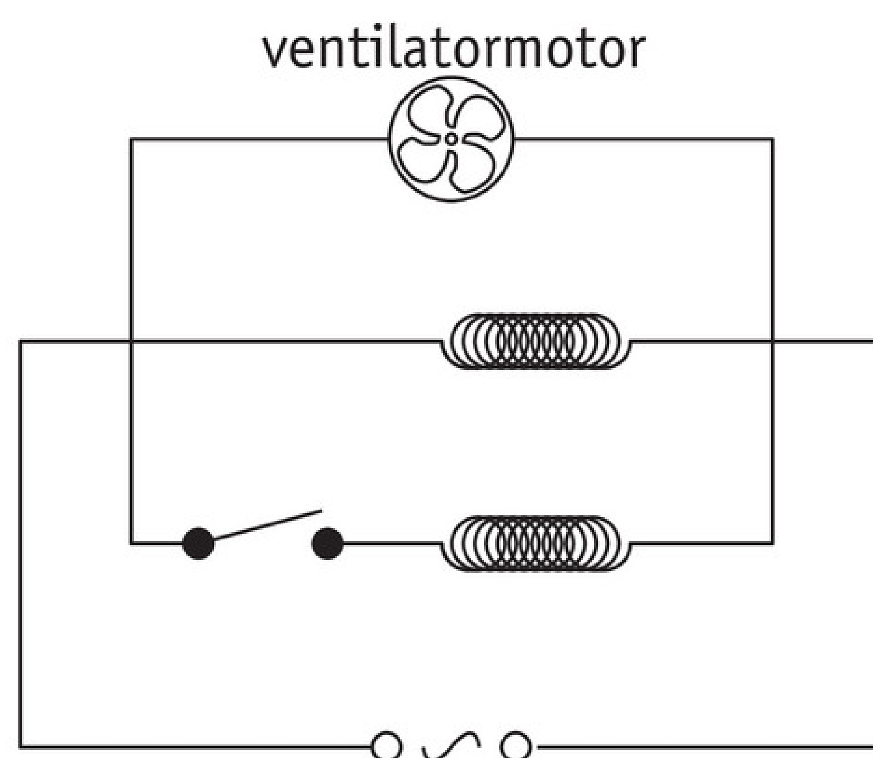
Het verwarmingselement van een koffiezetapparaat heeft een vermogen van $1{,}60 \cdot 10^3$ W. De netspanning is 230 V.

a Laat zien dat de weerstand van het verwarmingselement 33,1 Ω is.

b De draad van het verwarmingselement is gemaakt van nichroom en heeft een diameter van 0,22 mm.
Bereken de lengte van de draad.

54 Ventilatorkachel

Een ventilatorkachel wordt aangesloten op een netspanning van 230 V. De kachel heeft twee standen waarbij verwarmde lucht wordt uitgeblazen. Als de schakelaar in figuur 68 openstaat (stand 1), is de lucht lauw. Het elektrisch vermogen van de ventilatorkachel is dan 0,70 kW. Als de schakelaar wordt gesloten (stand 2), is de lucht warm. Het elektrisch vermogen is dan 1,3 kW.



▲ **figuur 68** schakelschema van een ventilatorkachel

De ventilatorkachel wordt op een aparte groep met een zekering van 16 A aangesloten.

a Laat met een berekening zien of bij gebruik van de ventilatorkachel de zekering het stroomcircuit onderbreekt.

Beide verwarmingsspiralen hebben hetzelfde elektrisch vermogen.

b Toon aan dat het elektrisch vermogen van de ventilator 0,1 kW is.

c Laat zien dat de weerstand van een verwarmingsspiraal 88 Ω is.

d Een verwarmingsspiraal kan doorbranden als een plek op de spiraal dun is geworden.
De hoeveelheid elektrische energie die per seconde in warmte wordt omgezet, is het grootst op de plek waar de spiraal het dunst is.
Leg dit uit met behulp van de formule $P = I^2 \cdot R$.

Eindopdracht

55 Schrikdraadinstallatie

Om schapen binnen een omheining te houden, plaatst een herder een afrastering van schrikdraad. De spanning over de draad is afkomstig van een accu die overdag wordt opgeladen met een zonnepaneel. Het paneel bestaat uit 40 geschakelde zonnecellen die elk 0,30 V spanning leveren. Op een zonnige dag levert het paneel bij een spanning van 12 V een stroomsterkte van 0,42 A.

a Leg uit of de zonnecellen in serie of parallel geschakeld zijn.

b Bereken het aantal elektronen dat per seconde door de zonnecellen stroomt.

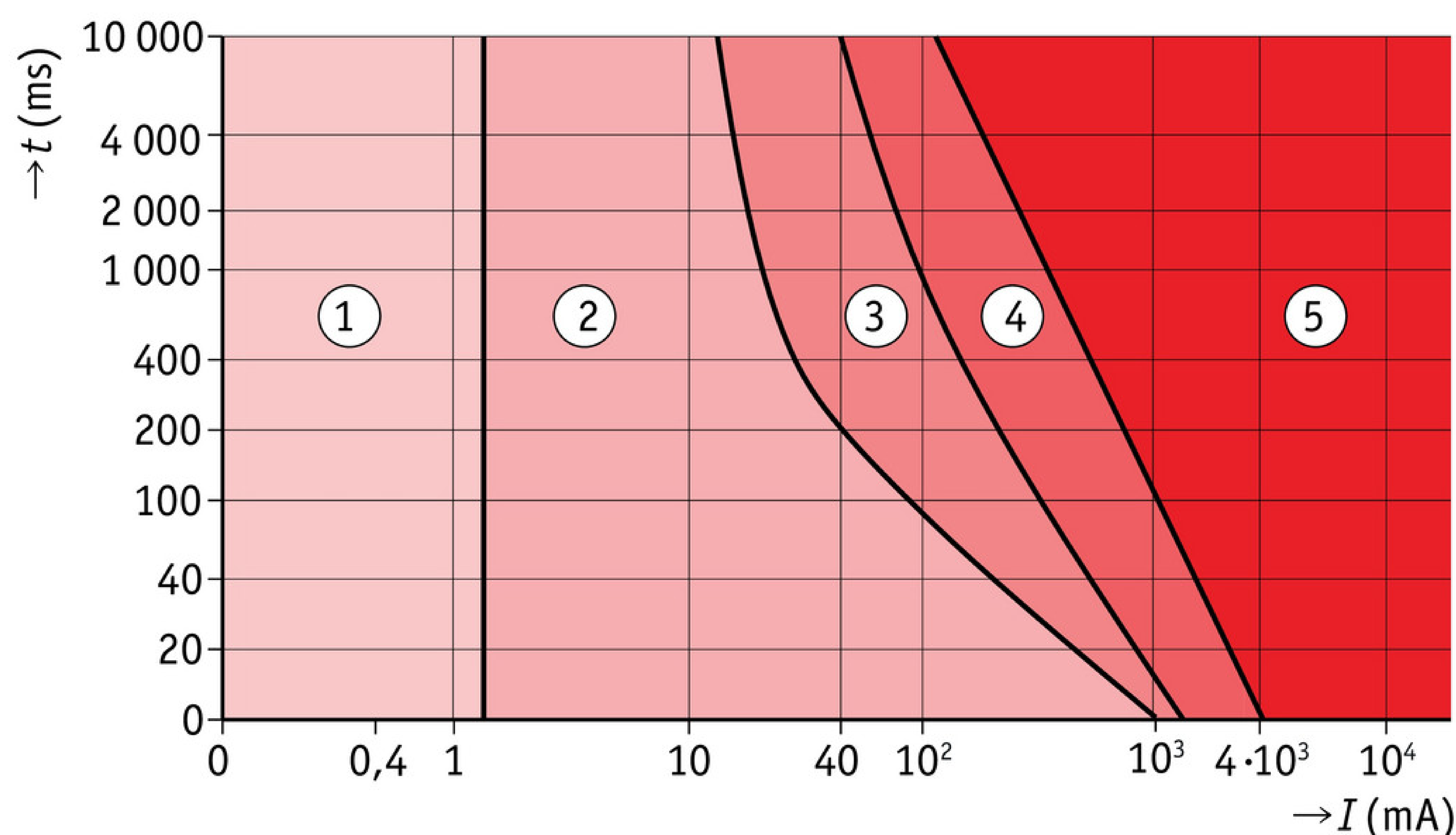
c Toon aan dat het paneel een maximaal elektrisch vermogen van 5,0 W kan leveren.

d Op de accu staat: 9,0 V, 55 Ah. Dat wil zeggen dat een 'volle' accu bij 9,0 V spanning gedurende 1 uur een stroomsterkte van 55 A kan leveren of gedurende 11 uur een stroomsterkte van 5,0 A, enzovoort. Na het afgeven van deze 55 Ah is de batterij leeg. Bereken hoelang het duurt voordat een lege accu door het zonnepaneel op zonnige dagen volledig is opgeladen.

e Als schrikdraad wordt een 280 m lange roestvrijstalen draad gebruikt met een weerstand van 20 Ω.
Bereken de dikte van de draad.

f De spanning van de accu wordt omgevormd tot hoogspanningspulsen. Tijdens de kortdurende pulsen staat over de schrikdraad een spanning van $1{,}0 \cdot 10^3$ V.
Op een bepaald moment raakt de herder de schrikdraad met zijn vinger aan. De totale elektrische weerstand van zijn lichaam kan worden opgevat als drie serieweerstanden: de contactweerstand tussen de draad en de vinger (4,0 kΩ), zijn lichaam (1,5 kΩ) en de contactweerstand tussen de schoenen en de grond (15 kΩ).
Bereken de stroomsterkte door het lichaam.

g Hoe gevaarlijk een elektrische stroom is die door het lichaam gaat, hangt niet alleen af van de grootte van de stroom, maar ook van hoelang die stroom door het lichaam loopt. Figuur 69 toont hoe stroomsterkte en tijd met elkaar samenhangen. Je ziet vijf gebieden in het diagram. In gebied 1 zijn er geen gevolgen voor het lichaam. In gebied 2 voel je pijn, maar zijn er geen blijvende gevolgen voor het lichaam. In gebied 3 krijg je ademhalingsproblemen en zware krampen. In gebied 4 heb je kans op een hartstilstand. In gebied 5 krijg je vrijwel zeker een hartstilstand.
Bepaal met behulp van de figuur in hoeverre de berekende stroomsterkte bij opdracht f schadelijk is.



▲ **figuur 69** Hoe gevaarlijk is stroom door het lichaam?

Maak de online diagnostische toets (Test jezelf).

8 Practicum

EXPERIMENT 1 De (I,U)-karakteristiek van een weerstand en een gloeilampje (onderzoekspracticum)

Inleiding
Voor een weerstandje geldt de wet van Ohm en voor een gloeilamp niet.
In dit experiment ga je een (I,U)-diagram maken voor twee gloeilampen en twee weerstandjes.

Onderzoeksvraag
Hoe zien de (I,U)-karakteristieken van een weerstand en van een gloeilamp eruit?

Benodigdheden
voedingskastje; vijf kabeltjes; twee verschillende weerstanden; twee verschillende gloeilampjes; stroommeter; spanningsmeter

Uitvoering
- Schakel het eerste weerstandje in serie met een stroommeter en het voedingskastje.
- Schakel de spanningsmeter parallel aan het weerstandje.
- Verander de spanning van het voedingskastje in stapjes van 0,25 V beginnend bij 0 V en eindigend bij 3,0 V en noteer de gemeten stroom bij elke spanning.
- Herhaal de voorgaande stappen voor het tweede weerstandje en de twee verschillende gloeilampen.

Verwerking

1 Maak een (I,U)-diagram van de meetgegevens voor elke component.
2 Wat valt je op aan de (I,U)-grafiek van de weerstandjes als je de vorm van de grafiek vergelijkt met die van de gloeilampen?
3 Bepaal de weerstand van elke component bij een spanning van 0,5 V en 2,0 V uit het gemaakte (I,U)-diagram.
4 Wat valt je op aan de berekende weerstandswaarden?

Conclusie
5 Beantwoord de onderzoeksvraag.

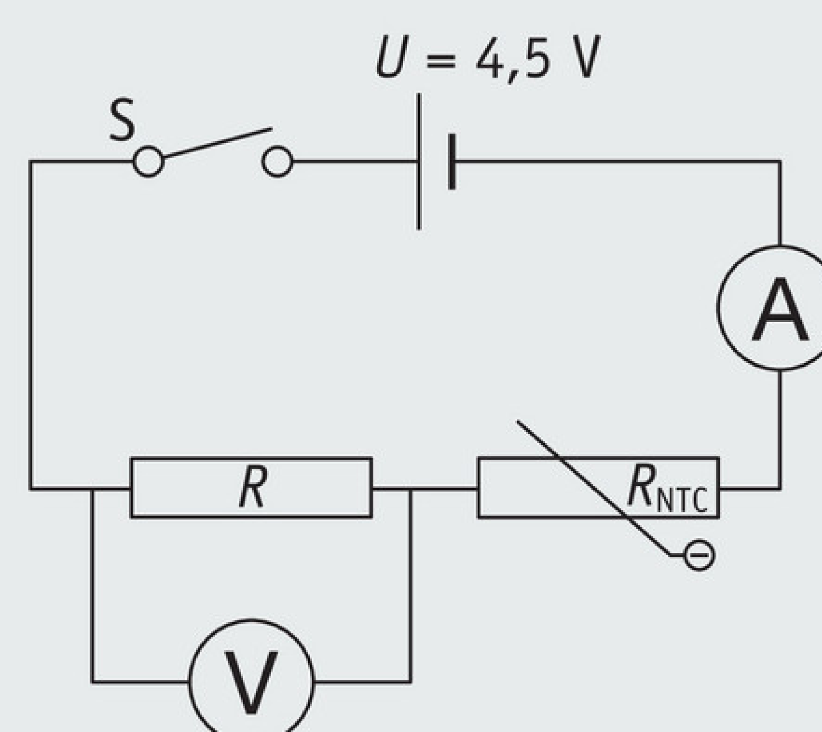
EXPERIMENT 2 Temperatuurbepaling met een NTC (onderzoekspracticum)

Inleiding
De vloeistofthermometer heeft voor nauwkeurige temperatuurbepalingen plaatsgemaakt voor de elektrische thermometer. In de elektrische thermometer wordt gebruikgemaakt van een bijzondere eigenschap van de NTC-weerstand: de weerstandswaarde van de NTC is afhankelijk van de temperatuur.

Onderzoeksvraag
Wat is het verband tussen de weerstand van de NTC en de temperatuur?

Benodigdheden
batterij van 4,5 V; NTC-weerstand; weerstand van 100 Ω; stroommeter; spanningsmeter; schakelaar; snoeren; vier krokodillenklemmen; bekerglas van 500 mL; vloeistofthermometer –10 °C tot +110 °C; thermoskan met heet water; lucifers; stopwatch

Uitvoering
Bouw de schakeling van figuur 70.



▲ **figuur 70** de opstelling van experiment 2

Meetserie A
- Vul het bekerglas met 100 mL kraanwater en leg de NTC in het water in het bekerglas.
- Meet de temperatuur van het water met de vloeistofthermometer, sluit de stroomkring en lees de

spannings- en stroommeter af. Neem tabel 3 over en noteer de meetwaarden.
- Giet 50 mL heet water uit de thermoskan bij het water in het bekerglas en herhaal de meting tien keer. Noteer steeds de temperatuur en de meetwaarden van de spannings- en stroommeter.

▼ **tabel 3** temperatuurstijging door water

T (°C)	*U* (V)	*I* (A)	resultaten

Meetserie B
- Haal de NTC uit het water, laat hem even in kraanwater afkoelen en droog hem af.
- Verwarm de NTC door hem met een lucifer te verhitten.
- Houd de lucifervlam een paar centimeter onder de NTC. Start de tijd als de brandende lucifer onder de NTC wordt gehouden en lees om de 10 s spanning U over weerstand R af. Neem tabel 3 over en noteer de meetwaarden. Je meting eindigt 1,0 min nadat de lucifer is gedoofd.

Verwerking

1 Bereken de weerstand van de NTC bij alle metingen van meetserie A en noteer de resultaten in de laatste kolom van tabel 3.
2 Maak een grafiek van de weerstand als functie van de temperatuur voor meetserie A.
3 Bereken de weerstand van de NTC bij alle metingen van meetserie B en noteer de resultaten in de laatste kolom van tabel 3.
4 Maak een grafiek waarbij je de temperatuur van de NTC uitzet tegen de tijd (meetserie B).
5 Bepaal de toptemperatuur van de NTC bij verwarming door de lucifer en het tijdstip waarop die temperatuur wordt bereikt.
6 Leg uit waarom de NTC veel sneller opwarmt dan afkoelt.
7 Leg uit waarom je de spanning over weerstand R meet in plaats van over de NTC.

Conclusie

8 Beantwoord de onderzoeksvraag.

EXPERIMENT 3 Gemengde schakelingen (apparatuurpracticum)

Inleiding

Met drie weerstanden kun je verschillende gemengde schakelingen maken.
In dit experiment ga je twee gemengde schakelingen maken. In deze schakelingen meet je alle stroomsterkten en spanningen. Vervolgens ga je na of de gemeten waarden overeenkomen met wat je theoretisch verwacht.

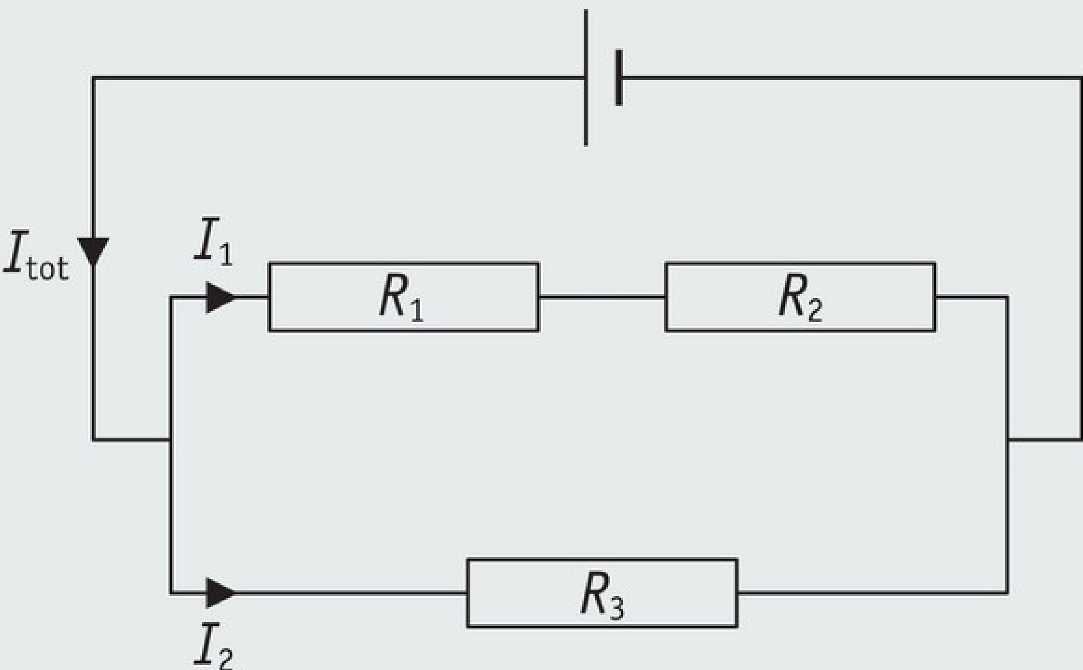
Onderzoeksvraag

Komen de gemeten stromen en spanningen bij de gemengde schakelingen overeen met de theoretische verwachting?

Benodigdheden

spanningsbron van 6,0 V; spanningsmeter; stroommeter; snoertjes; drie weerstanden: $R_1 = 27\ \Omega$, $R_2 = 56\ \Omega$ en $R_3 = 150\ \Omega$ (de drie weerstanden mogen ook andere waarden hebben, als de verhouding maar ongeveer klopt)

A Gemengde schakeling 1
- Stel de bronspanning met de spanningsmeter in op 6,0 V en verander deze gedurende het experiment niet meer.
- Maak de schakeling van figuur 71 waarbij je R_1 en R_2 in serie met elkaar schakelt en waarbij je R_3 parallel schakelt aan R_1 en R_2.
- Meet de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2.
- Meet de spanning over weerstand R_1.
- Meet de spanning over weerstand R_2.
- Meet de spanning over weerstand R_3.



▲ **figuur 71** een gemengde schakeling van drie weerstanden

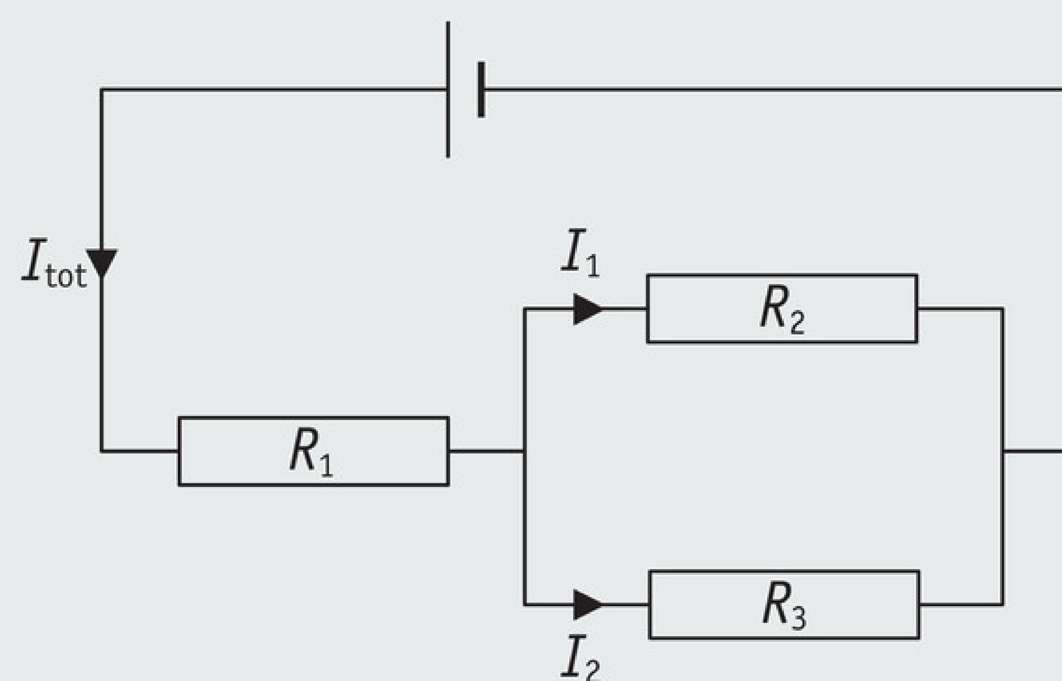
Verwerking

1 Vergelijk de spanning over R_3 met de spanningen over R_1 en R_2. Wat kun je hieruit concluderen?
2 Vergelijk de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2 met elkaar. Geldt $I_{tot} = I_1 + I_2$?
3 Bereken met de bronspanning en de weerstandswaarden van R_1, R_2 en R_3 de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2. Bereken ook de spanningen over elke weerstand afzonderlijk.
4 Vergelijk de berekende waarden van I_{tot}, I_1 en I_2 en van U_{R1}, U_{R2} en U_{R3} met de gemeten waarden. Komen ze met elkaar overeen?

B Gemengde schakeling 2
- Maak de schakeling van figuur 72 waarbij je R_2 en R_3 parallel schakelt. In serie hiermee schakel je R_1.
- Meet de grootte van de stroom I_{tot}.
- Meet de grootte van de deelstromen I_1 en I_2.
- Meet de spanning over weerstand R_1.
- Meet de spanning over weerstand R_2.
- Meet de spanning over weerstand R_3.

Verwerking

5 Vergelijk de gemeten hoofdstroom met de gemeten stromen I_1 en I_2. Wat kun je hieruit concluderen?



▲ **figuur 72** een tweede gemengde schakeling van weerstanden

6 Vergelijk de spanning over R_2 met de spanning over R_3.
7 Vergelijk de bronspanning met de spanning over de afzonderlijke weerstanden. Wat kun je hieruit concluderen?
8 Bereken met de bronspanning en de weerstandswaarden van R_1, R_2 en R_3 de stroomsterkten I_{tot}, I_1 en I_2. Bereken ook de spanningen over elke weerstand afzonderlijk.
9 Vergelijk de berekende waarden van I_{tot}, I_1 en I_2 en van U_{R1}, U_{R2} en U_{R3} met de gemeten waarden. Komen ze met elkaar overeen?

Conclusie
10 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Je docent beslist of je de volgende experimenten uitvoert volgens de instructies of dat je de uitgebreide omschrijving krijgt.

EXPERIMENT 4 Eigenschappen van een draad (begripspracticum)

Inleiding
Er zijn vier eigenschappen die de weerstand van een draad noemenswaardig veranderen. Dit zijn de lengte en dikte van de draad, het materiaal waar de draad van gemaakt is en de temperatuur van de draad. De invloed van de eerste drie eigenschappen op de weerstand van een draad ga je in dit experiment onderzoeken.

Onderzoeksvraag
Welk verband is er tussen de soortelijke weerstand (a), de lengte (b) en de dikte (c) van een draad en de weerstand van deze draad?

EXPERIMENT 5 Schakelingen van weerstanden (onderzoekspracticum)

Inleiding
Met drie weerstanden kun je diverse schakelingen maken. In dit experiment ga je een serie- en een parallelschakeling maken. In deze schakelingen meet je alle stroomsterkten en spanningen. Vervolgens ga je na of de gemeten waarden overeenkomen met wat je theoretisch verwacht.

Onderzoeksvraag
Komen de gemeten stromen en spanningen bij diverse schakelingen overeen met de theoretische verwachting?

EXPERIMENT 6 Gemengde schakelingen (onderzoekspracticum)

Inleiding
Met drie weerstanden kun je verschillende gemengde schakelingen maken. In dit experiment ga je twee gemengde schakelingen maken. In deze schakelingen meet je alle stroomsterkten en spanningen. Vervolgens ga je na of de gemeten waarden overeenkomen met wat je theoretisch verwacht.

Onderzoeksvraag
Komen de gemeten stromen en spanningen bij de gemengde schakelingen overeen met de theoretische verwachting?

EXPERIMENT 7 Warmteontwikkeling in een stroomdraad (begrips-demoproef)

Inleiding
Metalen zijn goede geleiders, maar toch hebben ze weerstand. Het gevolg daarvan is dat als er stroom door een draad loopt, daarin warmteontwikkeling plaatsvindt. Daardoor stijgt de temperatuur van de draad.

Onderzoeksvraag
Wat zijn de gevolgen van het sturen van een grote stroom door verschillende typen draad?

EXPERIMENT 8 De hittedraadstroommeter (apparatuurpracticum)

Inleiding
Als door een draad stroom loopt, zal door de warmteontwikkeling in de draad de temperatuur stijgen. Door de temperatuurstijging zet de draad uit.

Onderzoeksvraag
Kan de uitzetting van de stroomdraad gebruikt worden om stroomsterkten te meten?

ONDERZOEK Deelstromen bij een parallelschakeling

Inleiding
Als je drie weerstanden parallel schakelt en aansluit op een spanningsbron, vertakt de hoofdstroom zich in drie deelstromen. In dit onderzoek ga je meten hoe de hoofdstroom zich verdeelt over de drie weerstanden.

Onderzoeksvraag
Hoe verhouden zich de deelstromen door de afzonderlijke weerstanden bij een parallelschakeling van drie weerstanden?

Praktisch
Gebruik een stroommeter. Wissel tijdens de metingen niet van bereik.

Conclusie
Beantwoord de onderzoeksvraag. Klopt de verhouding van de gemeten deelstromen met wat je verwacht uitgaande van de drie weerstandswaarden?



HOOFDSTUK 3
Krachten

Met je spierkracht ben je in staat voorwerpen een snelheid te geven. De grootte en de richting van de kracht bepalen het eindresultaat. Je zult merken dat er dikwijls nog meer krachten een rol spelen. Wat de invloed en de gevolgen van die krachten zijn, is afhankelijk van een groot aantal factoren. Die factoren ga je in dit hoofdstuk onderzoeken.

Wat weet je al over krachten?

Leerdoelen
1 Je kunt verschillende soorten krachten beschrijven.
2 Je kunt de symbolen van krachten benoemen.
3 Je kunt de resulterende kracht berekenen van krachten die in dezelfde lijn liggen.
4 Je kunt rekenen met zwaartekracht.
5 Je kunt rekenen met hefbomen.

In de vorige leerjaren heb je al een aantal dingen over krachten geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

Opdrachten voorkennis

1 Koppel de juiste kracht aan de bijbehorende beschrijving. Trek lijnen.
A Deze kracht zorgt ervoor dat een fietser op gang komt.
B Deze kracht zorgt ervoor dat een appel uit de boom naar beneden valt.
C Deze kracht zorgt ervoor dat een bungeejumper tijdig wordt afgeremd.
D Deze kracht zorgt ervoor dat een schroefje aan een schroevendraaier blijft hangen.

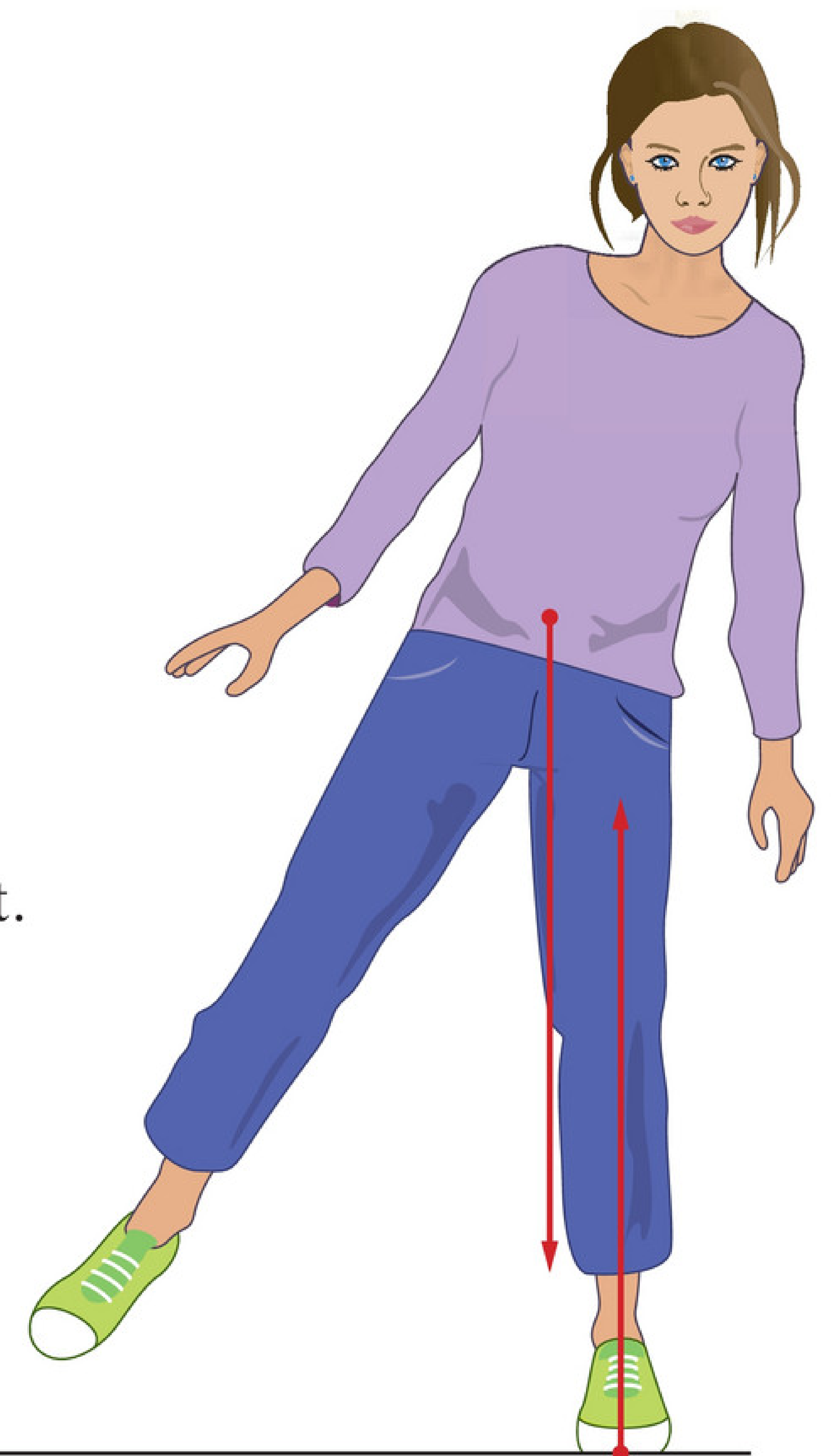
1 magnetische kracht
2 spierkracht
3 veerkracht
4 zwaartekracht

2 Els staat met één voet op de grond (afbeelding 1).
Op Els werken twee krachten.
Kies de juiste symbolen.
De kracht die omhoog is gericht, is de F_m / F_n / F_v / F_z.
De kracht die omlaag is gericht, is de F_m / F_n / F_v / F_z.

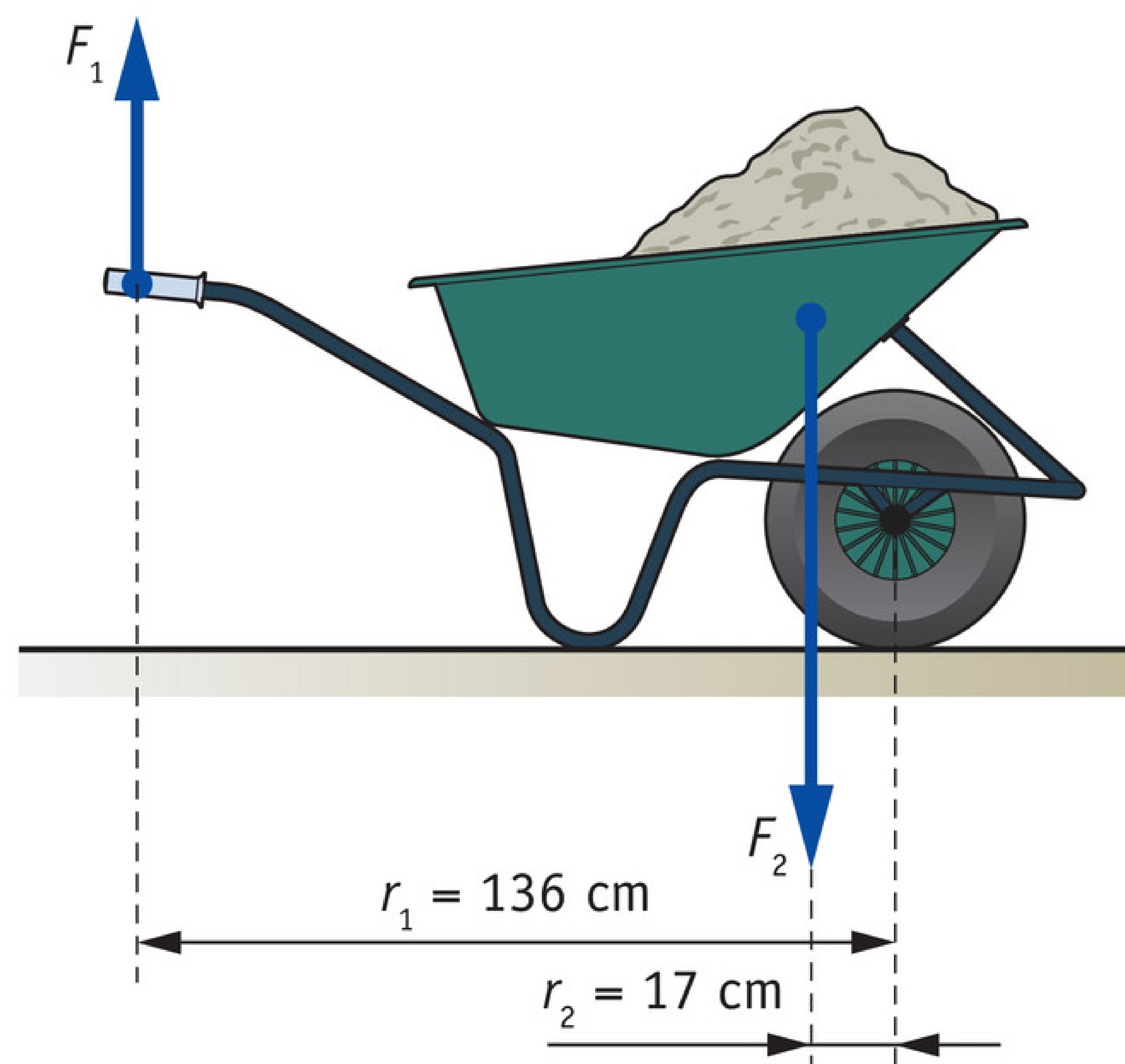
3 Een auto beweegt naar rechts. De horizontale krachten die op de auto werken hebben de volgende waarden:
– De luchtweerstandskracht is 60 N.
– De rolweerstandskracht is 50 N.
– De voorwaartse (motor)kracht is 200 N.
(Eventuele andere tegenwerkende krachten mag je verwaarlozen.)

Vul het juiste getal in en kies de juiste richting.
De resulterende kracht is ________ N en is naar *links* / *rechts* gericht.

4 Osman hangt zijn rugzak aan een krachtmeter.
De krachtmeter geeft een zwaartekracht aan van 19,6 N.
Hoe groot is de massa van zijn rugzak?
☐ 0,50 kg
☐ 2,0 kg
☐ 9,8 kg
☐ 19,2 kg

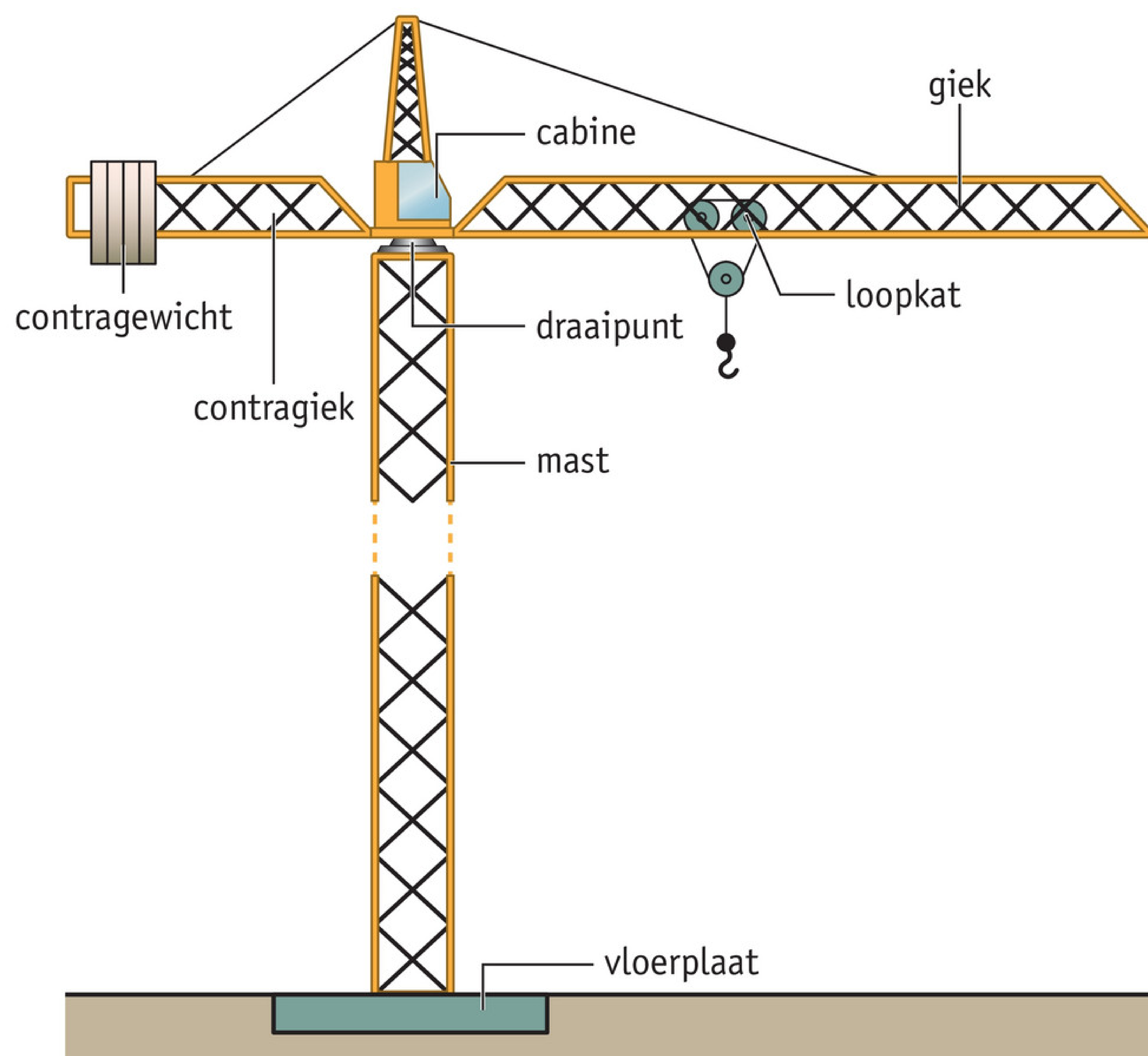

▲ afbeelding 1

5 De kruiwagen van afbeelding 2 ligt vol zand.
Hoe groot is zwaartekracht op het zand als je de kruiwagen optilt?
De zwaartekracht is *7 / 8 / 9 / 10* keer zo groot als de spierkracht.



▲ **afbeelding 2**

6 Het contragewicht van de kraan (afbeelding 3) zit op 3,90 m van het draaipunt. Op het contragewicht werkt een zwaartekracht van 300 kN.
Selin wil een gewicht optillen waarop een zwaartekracht werkt van 110 kN.
Bereken hoe ver Selin in deze situatie de haak vanaf het draaipunt moet hangen, zonder dat de kraan omvalt. Rond af op een geheel getal.
Selin moet de haak op een afstand van ________ m vanaf het draaipunt hangen.



▲ **afbeelding 3**

Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*.

Praktijk

Bruggen

Als je een sloot wilt oversteken, kun je een plank over de sloot leggen. Dan heb je in feite een simpele brug gemaakt. Dit kan natuurlijk alleen als de plank sterk genoeg is. Of dat zo is, is afhankelijk van een aantal factoren. Je kunt een brede sloot bijvoorbeeld niet oversteken met een dunne plank. De plank zal doorbuigen onder je gewicht. Maar als je de dunne plank op zijn zijkant legt, buigt deze minder snel door. Niet alleen het materiaal van de plank, maar ook de vorm ervan en de manier waarop je de plank belast, bepalen de sterkte.



Verschillende soorten bruggen

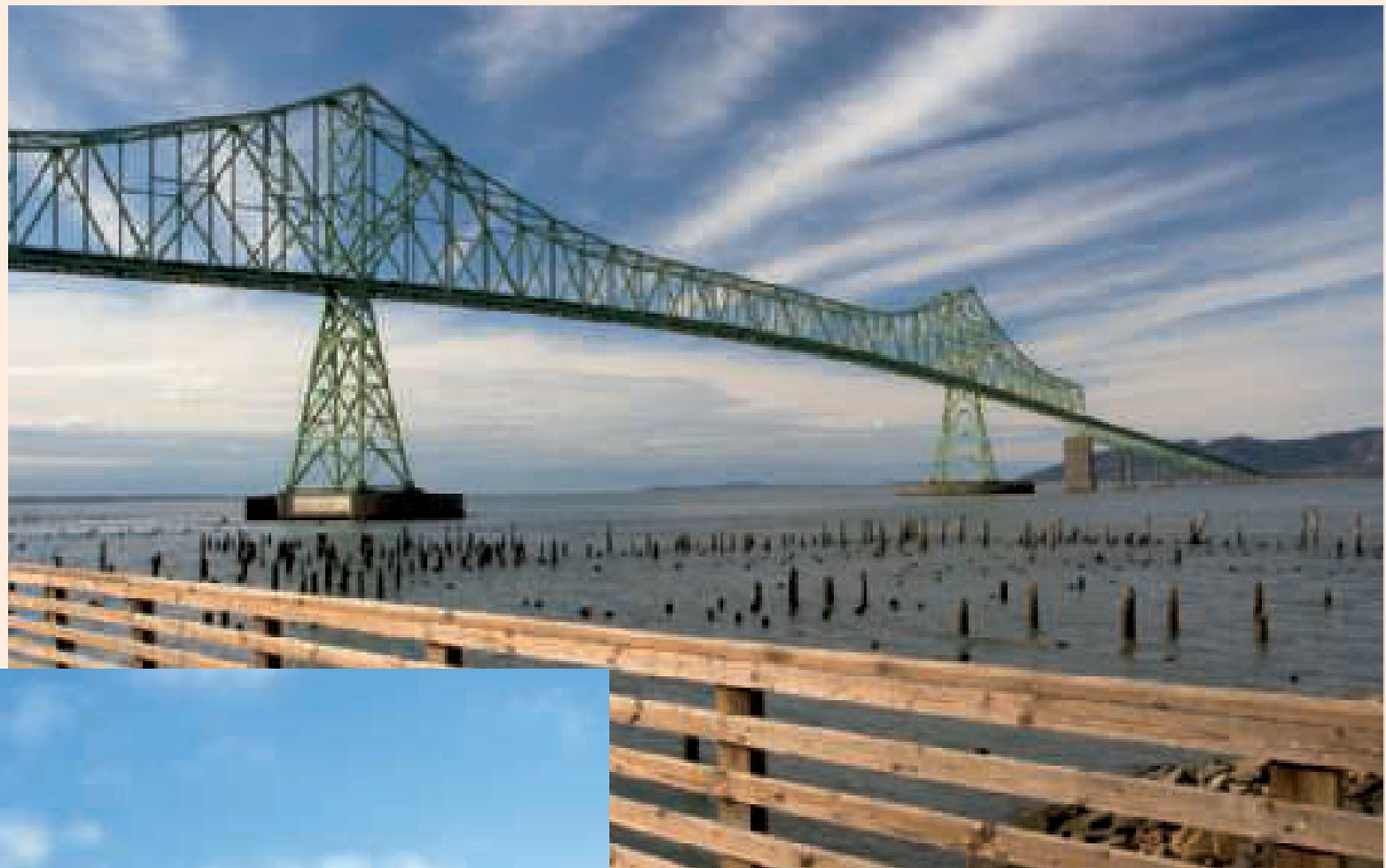
Wil je een grotere afstand dan een sloot overbruggen, of de brug zwaarder belasten, dan moet je kiezen voor andere materialen of betere vormen. Steen bijvoorbeeld is een materiaal dat grote drukkrachten kan weerstaan en bogen zijn sterke vormen. De eerste echte bruggen waren dan ook stenen boogbruggen.

Het nadeel van een stenen boogbrug is dat de overspanningsbreedte, maar ook de doorvaarthoogte, beperkt is. Bovendien is de enorme hoeveelheid materiaal van de brug zelf al een grote belasting. Door gebruik te maken van andere materialen, zoals ijzer, is het mogelijk veel grotere overspanningen te maken met relatief weinig materiaal (figuur 1). Ook de ontdekking van de driehoek als sterke constructievorm heeft hieraan bijgedragen. In plaats van alleen drukkrachten wordt bij deze moderne constructies ook slim gebruikgemaakt van trekkrachten.

Bij een hangbrug houden evenwijdig lopende stalen draagkabels het betonnen wegdek omhoog. De draagkabels hangen aan dikke kabelbomen die op hun beurt zijn bevestigd aan de draagtorens en aan weerszijden van de brug zijn verankerd (figuur 2).

Om een grote overspanning te maken van beton heb je een speciaal soort beton nodig: gewapend beton. Daardoor heb je relatief weinig materiaal nodig. Er wordt gebruikgemaakt van een bepaald type gewapend beton: voorgespannen beton (figuur 3). Bij een constructie van voorgespannen

▶ **figuur 1** De Astoria-Megler-brug overspant de rivier Columbia en verbindt Astoria (Oregon) met Point Ellice (Washington). Het is een ijzeren vakwerkbrug.





In plaats van alleen drukkrachten wordt bij deze moderne constructies ook slim gebruikgemaakt van trekkrachten.

▲ **figuur 2** De Golden Gate-brug in San Francisco (Californië) is misschien wel de bekendste hangbrug.



▶ **figuur 3** De Zeeburgerbrug is een voorbeeld van een brug van voorgespannen beton.

beton wordt het wapeningsstaal al bij het maken van de constructie uitgerekt. Door het staal uit te rekken, ontstaat een trekkracht in het staal. Het uitgerekte staal wil krimpen, maar dat krimpen wordt grotendeels tegengehouden door het beton. Op het beton werkt dan een drukkracht die even groot is als de trekkracht in het uitgerekte staal.

Beweegbare bruggen

Vroeger waren steden en kastelen vaak omringd door een gracht. Om mensen binnen te laten, werd gebruikgemaakt van een zogenoemde

'valbrug'. De brug kon omhoog worden gehesen om indringers tegen te houden. Bij de valbrug zit het uiteinde vast aan kettingen. Via een katrolmechanisme worden de kettingen opgerold en kan de brug worden gehesen. Een moderne variant van de valbrug is de ophaalbrug (figuur 4). Een ophaalbrug werkt met contragewichten. Daardoor vergt het ophijsen van de brug veel minder kracht.



▶ **figuur 4** Een ophaalbrug is een moderne variant van een valbrug.

De langste brug ter wereld

In ruim vier jaar tijd is de Hangzhoubaai-brug gebouwd. Hij is met 36 kilometer de langste brug ter wereld (vergelijk de Afsluitdijk: 30 kilometer). Halverwege de brug is er een kunstmatig eiland waar automobilisten kunnen rusten of een hapje eten. De Hangzhoubaai-brug heeft twee tuiconstructies, een van 448 meter en een van 318 meter. Het wegdek is opgehangen aan dikke 'tuien' (kabels). De kabels zijn bevestigd aan zogeheten pylonen. De pylonen verdelen het gewicht van de brug over de fundering. In de tuien is sprake van trekkracht, in de pylonen van drukkracht.



▲ **figuur 5** de Hangzhoubaai-brug

Opdrachten

Bestudeer eerst de theorie van dit hoofdstuk voordat je de volgende opdrachten uitvoert.

1 Ophaalbrug
Sommige kleine ophaalbruggen over riviertjes kunnen watersporters zelf openen door aan een ketting te trekken. In figuur 6 is zo'n brug schematisch getekend. Het wegdek van de brug draait om punt A. Om de brug te openen, oefent kabel BC een kracht van $5{,}9 \cdot 10^2$ N uit op het uiteinde van het wegdek (punt B). Het zwaartepunt van het wegdek bevindt zich midden tussen A en B. De afstand AB is 3,2 m.

- **a** Bereken de massa van het wegdek.
- **b** Om de brug te openen trekt een watersporter aan de ketting in punt E. Aan uiteinde E van toplat EC is een extra massa aangebracht van 63 kg. De massa van de toplat zelf is te verwaarlozen. De toplat draait om punt D.
  Bepaal de grootte van de kracht waarmee de watersporter minstens aan de ketting moet trekken om de brug te openen.
- **c** Op het wegdek van de brug ligt een baksteen met een massa van 1,4 kg. Als de brug wordt geopend, schuift de baksteen bij een bepaalde stand van de brug met een constante snelheid langs het wegdek naar beneden. In die stand is de hoek die het wegdek maakt met het horizontale vlak 28°.
  Bereken de grootte van de wrijvingskracht tussen de baksteen en het wegdek.

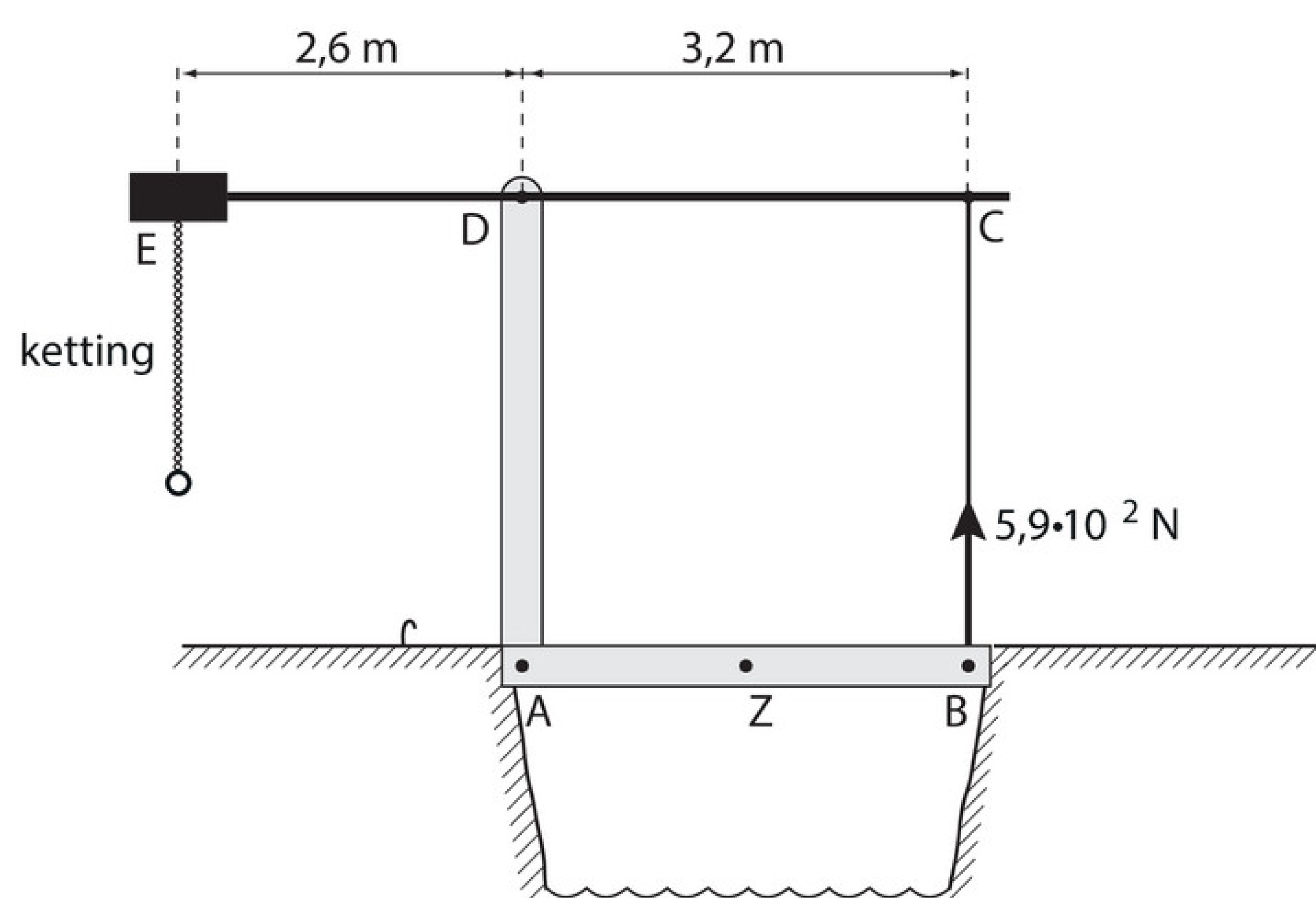
naar: examen 2000-I

2 Helling
Maaike wil onderzoeken wat de maximale hellingshoek is waarbij een fietser nog tegen de helling van een brug kan oprijden. Daarvoor moet ze eerst schatten wat de maximale voorwaartse kracht is die een fietser kan leveren. Op internet vindt ze een diagram waarin de totale wrijvingskracht als functie van de snelheid van een (gemiddelde) fietser op een horizontale weg is weergegeven (figuur 7).

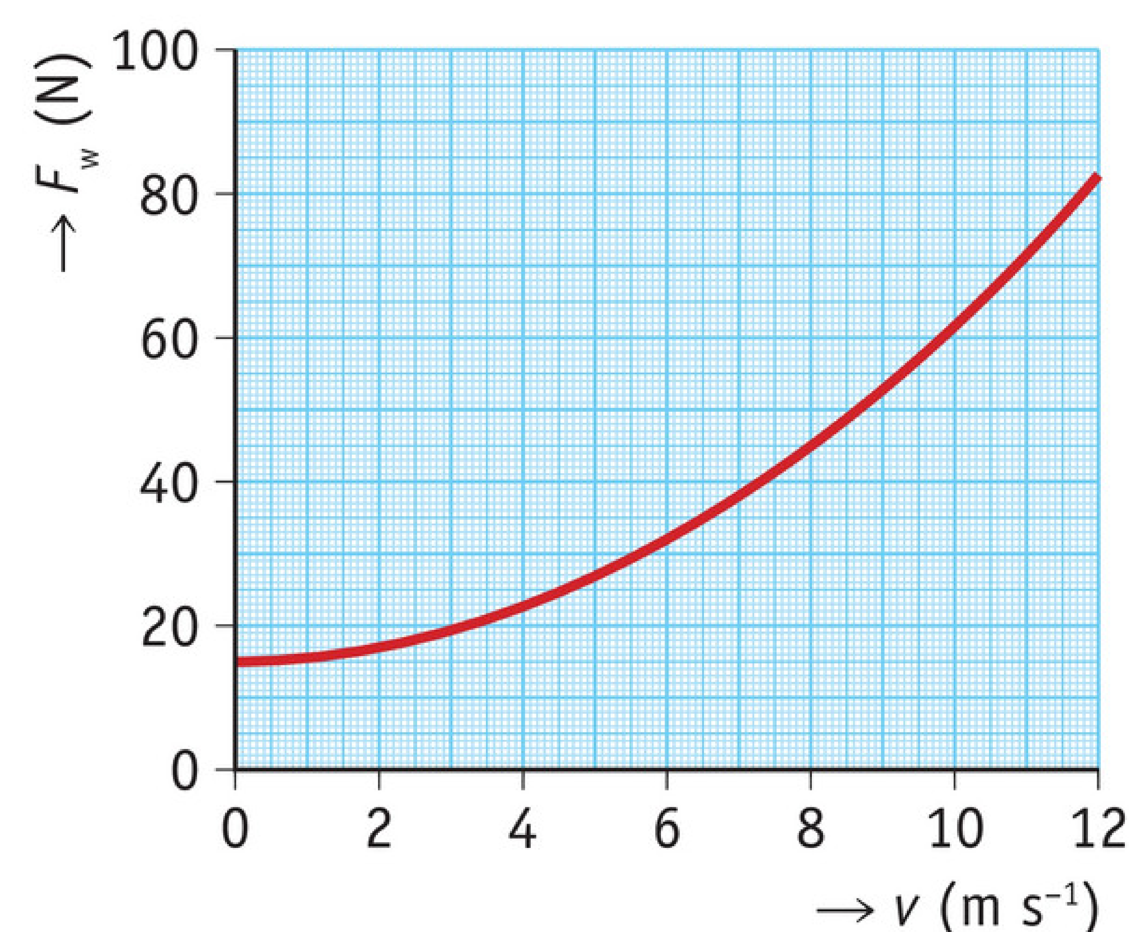
- **a** Maaike weet dat zij op haar fiets een maximale topsnelheid van 36 km/h kan halen.
  Bepaal de maximale voorwaartse kracht die Maaike volgens de gegevens in de grafiek op haar fiets zou kunnen leveren.

De massa van Maaike met haar fiets is 90 kg.

- **b** Maak een schatting van de maximale hellingshoek die een oprit van een brug mag hebben. Gebruik hierbij het antwoord op opdracht a.
- **c** Geef twee redenen waarom de werkelijke waarde (waarschijnlijk) afwijkt van de schatting in opdracht b.



▲ **figuur 6** een ophaalbrug met contragewicht



▲ **figuur 7** de wrijvingskracht op een fietser

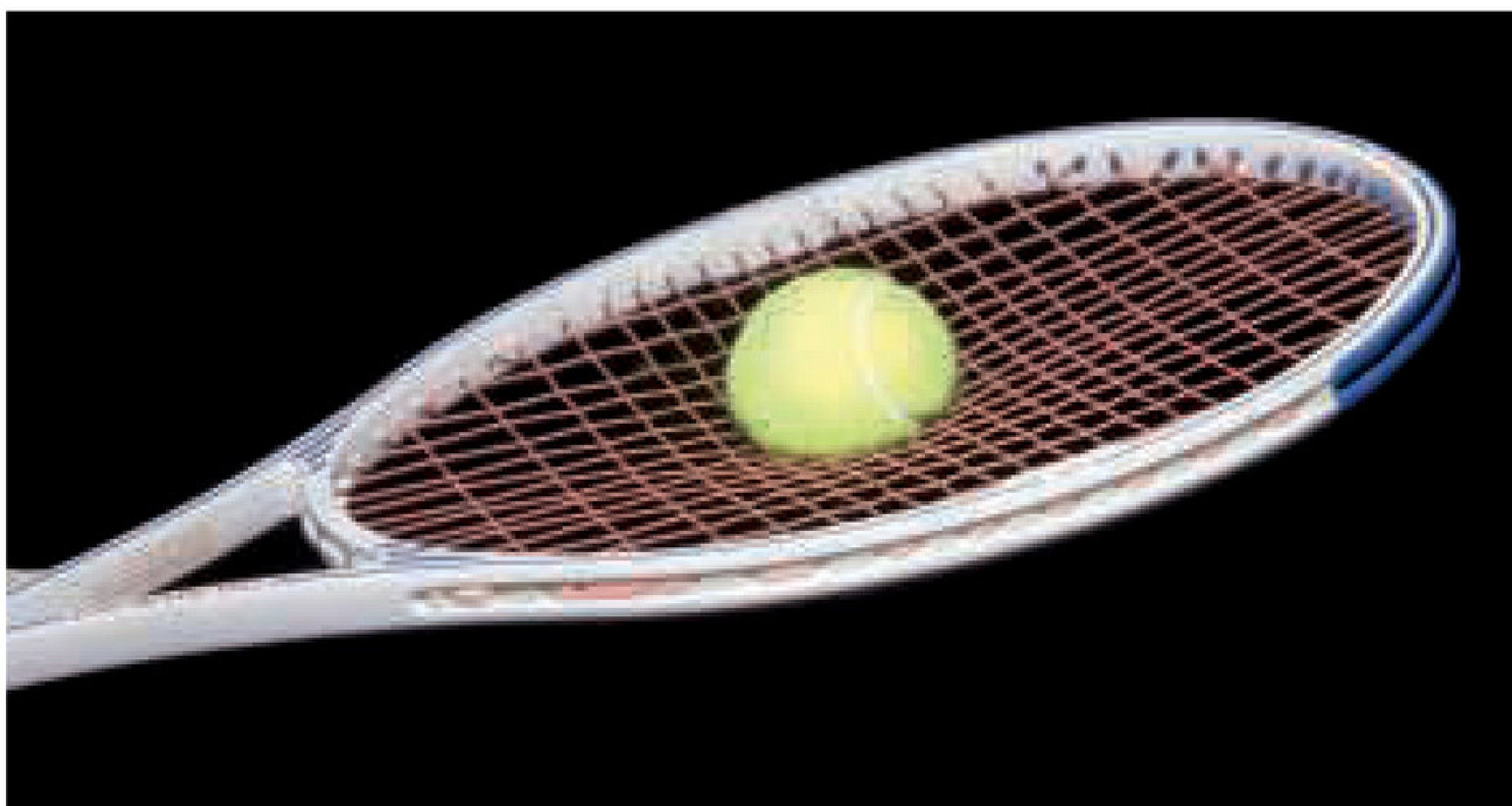
1 Krachten

In deze paragraaf leer je:
- de eigenschappen van een kracht benoemen;
- hoe je krachten tekent;
- een aantal krachten kennen.

Veel krachten ken je uit het dagelijks leven. Spierkracht is misschien wel de bekendste kracht. Die gebruik je als je turnt, voetbalt of hockeyt, maar ook als je naar school fietst of door het natuurkundelokaal loopt. Andere krachten die je waarschijnlijk al kent, zijn zwaartekracht en veerkracht. Misschien ken je nog meer krachten, zoals magnetische kracht en wrijvingskracht. Al deze krachten hebben verschillende eigenschappen.

Eigenschappen van krachten

Het is niet eenvoudig om precies te zeggen wat een kracht *is*. Het is eenvoudiger om aan te geven wat een kracht kan *doen*.
Een kracht kan een voorwerp **vervormen**. Dit kan op twee manieren: plastisch en elastisch. Een balk breekt door midden als er een te grote massa op rust. Dit heet **plastische vervorming**, omdat de balk blijvend is vervormd. De besnaring van een tennisracket vervormt als het racket een bal raakt. Dit noem je **elastische vervorming**, omdat de besnaring daarna weer terugkeert in de oorspronkelijke vorm (figuur 1).
Een kracht kan de **beweging** van het voorwerp veranderen. Als je tennist, veranderen richting en snelheid van de bal. Een parachutespringer krijgt in de eerste seconden van de val een steeds grotere snelheid door de zwaartekracht.



▲ **figuur 1** elastische vervorming

Krachten tekenen

Bij krachten is niet alleen de grootte belangrijk. Als je bij een potje volleybal de bal hard in een willekeurige richting slaat, is dat geen garantie op succes. Belangrijk is de richting waarin de kracht werkt. Een grootheid die zowel een grootte als een richting heeft, wordt een **vector** genoemd. Andere voorbeelden van vectoren zijn snelheid, versnelling en verplaatsing. Een grootheid die alleen een grootte heeft, wordt een **scalar** genoemd. Voorbeelden van scalaire grootheden zijn temperatuur, energie en massa.
Omdat krachten vectoren zijn, worden ze altijd getekend als een pijl met daarbij de letter F (van het Engelse woord voor kracht: *force*). De eenheid van kracht is newton (N). De krachtenpijl bevat alle gegevens over de kracht, namelijk:
- De richting van de pijl is de richting van de kracht.
- De lengte van de pijl komt overeen met de grootte van de kracht.
- De plaats waar de pijl begint, heet het **aangrijpingspunt** van de kracht: het punt waarop de kracht werkt.

In figuur 2 zie je hoe je een kracht tekent met een pijl. In de figuur is de pijl 2,0 cm lang. De kracht van de karateka is $F = 400$ N. Dat betekent dat 1,0 cm overeenkomt met een kracht van 200 N. Dat noteer je als: 1,0 cm ≙ 200 N. Dit wordt een **krachtenschaal** genoemd.
Als de karateka nu op een nieuw blok dakpannen een kracht van 500 N zou uitoefenen, dan zou de pijl 2,5 cm moeten zijn.



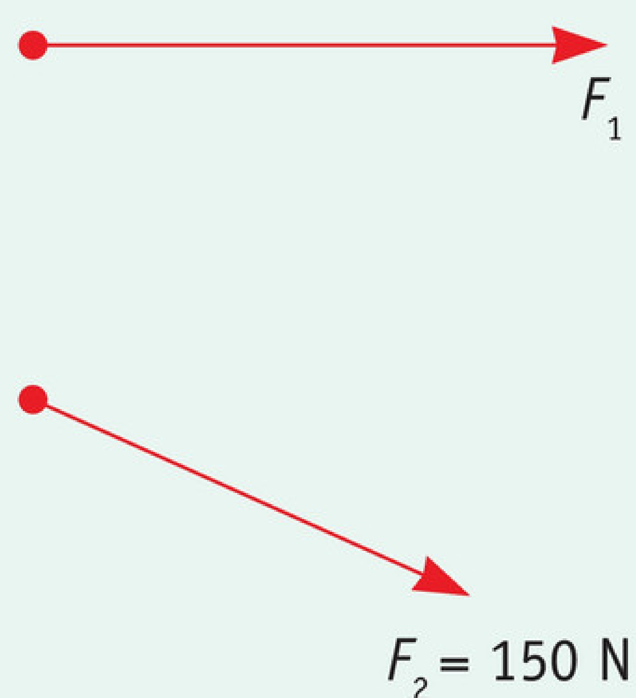
▲ **figuur 2** Een karateka oefent een kracht uit op een aantal dakpannen.

Voorbeeldopgave 1

Gebruik figuur 3.

a Hoe groot is kracht F_1 als gegeven is dat 1,0 cm ≙ 15 N?

b Bepaal de krachtenschaal bij kracht F_2.



▲ **figuur 3** twee krachten

Uitwerking

a De krachtenschaal is 1,0 cm ≙ 15 N.
Kracht F_1 is 3,0 cm lang. Dus $F_1 = 3{,}0 \times 15 = 45$ N.

b De vectorpijl van F_2 is 2,5 cm lang en F_2 heeft een grootte van 150 N, dus

$$1{,}0 \text{ cm} \mathrel{\hat{=}} \frac{150}{2{,}5} = 60 \text{ N.}$$

Massa, zwaartekracht, gewicht, normaalkracht en spankracht

De natuurkundige grootheden massa, zwaartekracht, gewicht en normaalkracht hebben zoveel met elkaar te maken dat ze regelmatig door elkaar worden gehaald.
De **massa *m*** is een maat voor de hoeveelheid materie waaruit een voorwerp bestaat en wordt uitgedrukt in kilogram. Massa is geen kracht en is ook geen vector (dus een scalar).
De **zwaartekracht F_z** is de kracht waarmee een voorwerp door de aarde (of het hemellichaam waarop het zich bevindt) wordt aangetrokken. De zwaartekracht wordt zoals alle krachten uitgedrukt in newton (N) en is een vector. Je berekent de zwaartekracht met:

$$F_z = m \cdot g$$

Hierin is:
- F_z de zwaartekracht in newton (N);
- m de massa in kilogram (kg);
- g de valversnelling in meter per seconde kwadraat (in m/s^2 of $m\ s^{-2}$).

In Nederland en België geldt: $g = 9{,}81\ m\ s^{-2}$. In Binas tabel 31 vind je de waarde van g (onder ‘gravitatieversnelling aan het oppervlak’) op andere planeten en op de maan. Daarmee kun je ook de zwaartekracht op een andere planeet uitrekenen.

Voorbeeldopgave 2

Op Mars werkt een zwaartekracht van 2,6 N op een voorwerp.
a Bereken de massa van dat voorwerp.
b Hoe groot is de zwaartekracht die in Nederland op datzelfde voorwerp wordt uitgeoefend?

Uitwerking
a In Binas tabel 31 vind je $g_{Mars} = 3{,}7\ m\ s^{-2}$.

$$m = \frac{F_z}{g} = \frac{2{,}6}{3{,}7} = 0{,}70\ kg$$

b In Nederland geldt dan: $F_z = m \cdot g = 0{,}70 \times 9{,}81 = 6{,}9\ N$

Het **gewicht *G*** is de kracht die een voorwerp op zijn steunvlak uitoefent. Ook het gewicht is een kracht, dus is het een vector met de eenheid N.
De **normaalkracht F_N** is de kracht die het steunvlak op het voorwerp uitoefent. De normaalkracht staat altijd loodrecht (⊥) op het steunvlak. Ook deze kracht heeft alle eigenschappen die je van krachten kent.
Bij een hangend voorwerp werkt er ook een steunkracht op het voorwerp: de **spankracht F_s**. De spankracht is de kracht die het uiteinde van een touw of kabel op een voorwerp uitoefent. In plaats van aan een touw kun je een voorwerp ook aan een veer hangen. De kracht die de veer op het voorwerp uitoefent, heet de **veerkracht**.

Wrijvingskrachten

De kracht die een verhuizer tegenwerkt als hij een zware kist probeert te verschuiven, heet **schuifwrijvingskracht** of schuifweerstand. Deze kracht treedt op als twee oppervlakken over elkaar bewegen of proberen te bewegen. Zolang de kist nog niet beweegt, is de schuifwrijving gelijk aan de kracht waarmee de verhuizer tegen de kist duwt. Als de kist gaat bewegen, heeft de schuifwrijving zijn maximale waarde bereikt. Deze waarde hangt onder andere af van de ruwheid van de oppervlakken (van kist en vloer) en de kracht waarmee de oppervlakken tegen elkaar duwen (de normaalkracht).

De twee belangrijkste krachten die de beweging van een fietser (of auto) tegenwerken, zijn de **luchtweerstandskracht** en de **rolweerstandskracht**. Een andere naam voor deze krachten is luchtwrijving en rolwrijving. Luchtweerstand op een fietser ontstaat door de wrijving tussen de bewegende fietser en de luchtmoleculen eromheen. De luchtweerstand is evenredig met het kwadraat van de snelheid: bij een twee keer zo grote snelheid neemt de luchtweerstand toe met een factor 4. Rolweerstand is de weerstand die een voorwerp ondervindt door de vervorming van banden en ondergrond. De rolweerstand is net als de schuifwrijving recht evenredig met de normaalkracht op het voorwerp en hangt niet af van de snelheid van het voertuig.

Krachten meten

Een van de eigenschappen van krachten is dat ze voorwerpen kunnen vervormen. Soms gebeurt dat zo regelmatig dat je de mate van vervorming kunt gebruiken voor het meten van die krachten. Als je aan een veer een massa hangt, zal de veer volkomen elastisch uitrekken. Bij een twee keer zo grote kracht op de veer is de uitrekking *u* ook twee keer zo groot.

Kortom: $\frac{F}{u}$ is constant. Deze constante heet **veerconstante**.

In hoofdstuk 4 (paragraaf 2) leer je meer over deze veerconstante. Het verband tussen de op de veer uitgeoefende kracht en de uitrekking is lineair. Je kunt de veer ijken om er een krachtmeter van te maken. Hiervoor moet je een schaalverdeling aanbrengen. Je hebt nu een krachtmeter: de veerunster (figuur 4).
In plaats van een veer uit te rekken, kun je deze ook indrukken. Ook dan gelden voor de vervorming van de veer dezelfde eigenschappen. Daarvan maak je gebruik bij een weegschaal.



▶ **figuur 4** een veerunster

Onthoud!

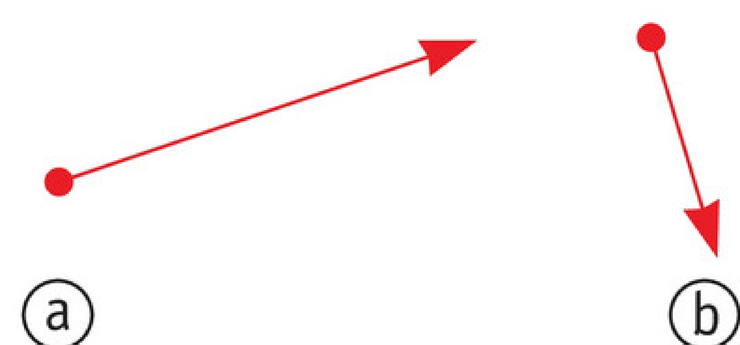
- Een kracht kan een voorwerp vervormen en/of de beweging (richting en snelheid) veranderen.
- Een kracht is een vector en wordt aangegeven met een pijl.
- De zwaartekracht op een voorwerp bereken je met $F_z = m \cdot g$.

Opdrachten

1 Krachten
Krachten hebben verschillende eigenschappen.
a Leg uit wat het verschil is tussen plastische en elastische vervorming.
b Noem drie grootheden die als vector worden weergegeven en drie grootheden die scalair zijn.
c Wat is het verschil tussen zwaartekracht en gewicht?

2 Krachten benoemen
Noem de krachten die werken op:
a een massa die aan een veer hangt.
b een blokje dat heel langzaam langs een helling omlaag schuift.
c een wielrenner die met een lekke band fietst.
d een auto die met een sleepkabel vooruit wordt getrokken.
e een brugdeel dat is opgehangen aan metalen kabels.

3 Krachtenschaal
Aan de hand van een tekening van een kracht kun je de grootte van de kracht bepalen als de krachtenschaal is gegeven.



▲ **figuur 5** twee krachten

a Bepaal de grootte van de kracht in figuur 5a als gegeven is dat 1,0 cm ≙ 50 N.
b Bepaal de krachtenschaal in figuur 5b als gegeven is dat de kracht 24 N is.

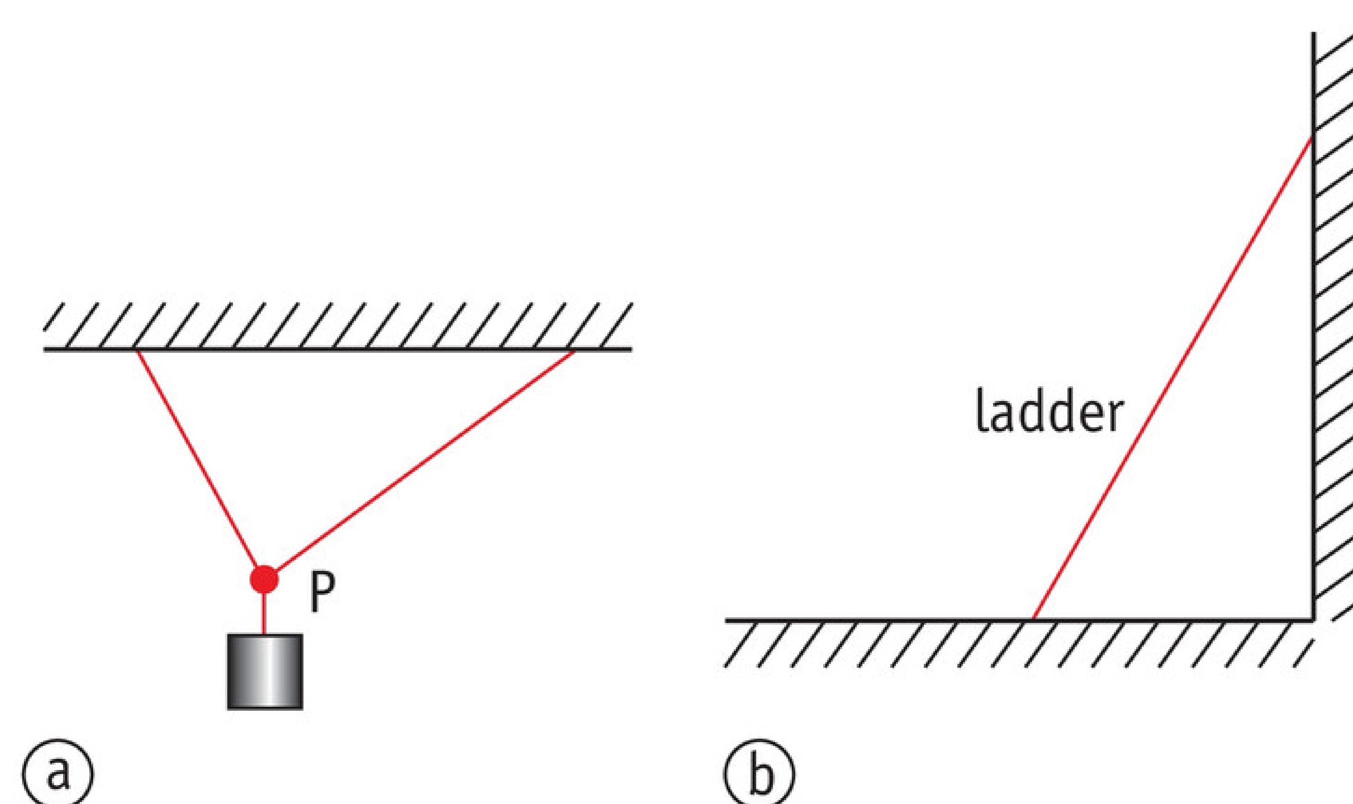
4 Veer
Als je aan een veer trekt met een kracht van 0,10 N, rekt die veer 1,0 cm uit. Aan deze veer wordt een massa van 150 g gehangen.
Bereken de uitrekking van de veer bij deze last.

5 Astronaut
De massa van een astronaut en zijn ruimtepak is 110 kg.
a Bereken de zwaartekracht die in Nederland op de astronaut werkt.

Na een ruimtereis stapt de astronaut uit een maanlander en staat op de maan.
b Bereken de zwaartekracht die nu op de astronaut werkt.
c Leg uit hoe groot de normaalkracht op de astronaut is.

6 Marslander
Op een Marslander die zich op het Marsoppervlak bevindt, werkt een zwaartekracht van $2{,}3 \cdot 10^3$ N.
Bereken de massa van de Marslander.

7 Krachten tekenen
Via een schematische tekening kun je een kracht weergeven.



▲ **figuur 6** een blokje (a) en een ladder (b)

a Schets de twee spankrachten op punt P in de twee ophangtouwen in figuur 6a.
b Schets de twee normaalkrachten op de ladder in figuur 6b.

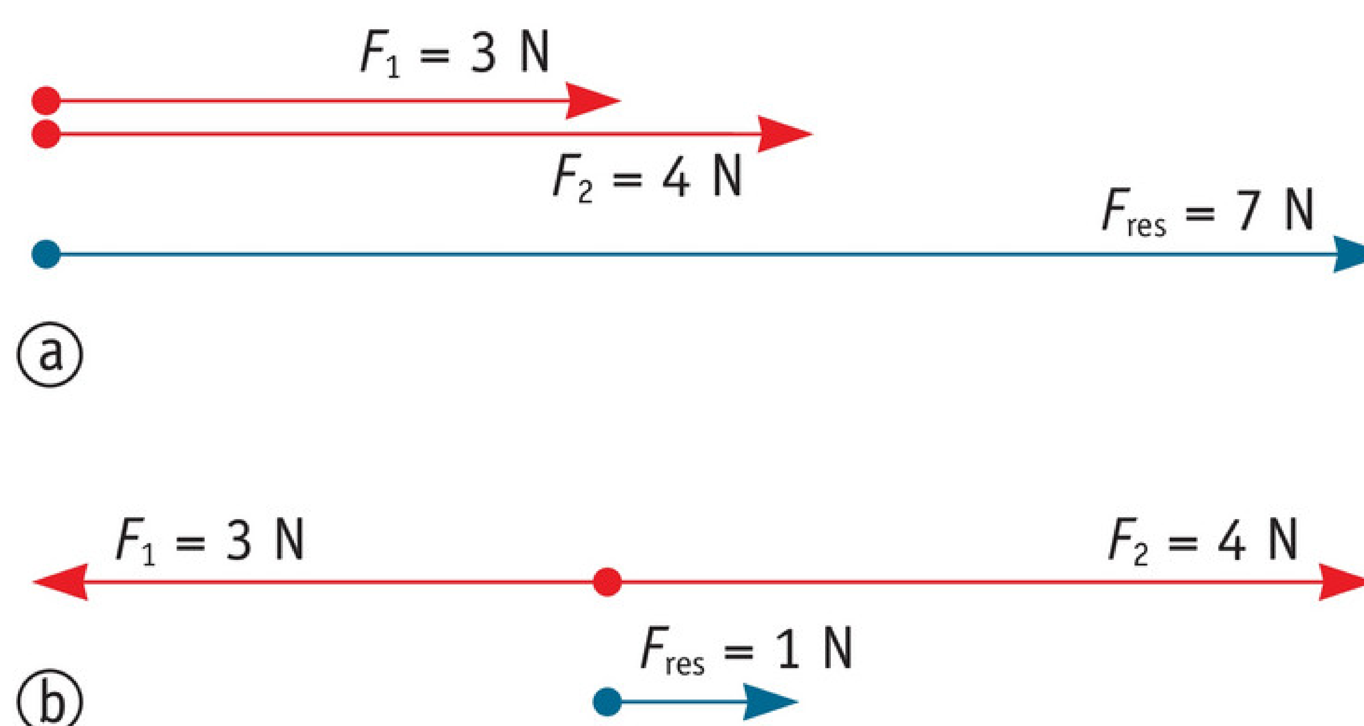
2 Krachten samenstellen

In deze paragraaf leer je:
- hoe je krachten samenstelt tot een resulterende kracht;
- hoe je de resulterende kracht berekent als twee krachten loodrecht op elkaar staan;
- hoe je de resulterende kracht bepaalt met een constructie;
- dat de snelheid van een voorwerp niet verandert als de resulterende kracht nul is.

Als er meer krachten op een voorwerp werken, is het handig om deze krachten te vervangen door één kracht die dezelfde gevolgen heeft als alle afzonderlijke krachten samen. Dit heet het samenstellen van krachten.

Krachten langs één lijn samenstellen

Die ene kracht die alle andere krachten vervangt, heet de **resulterende kracht** of korter de **resultante**. Soms wordt de resulterende kracht ook wel de somkracht of de nettokracht genoemd. Het symbool voor de resulterende kracht is F_{res}.
Als alle krachten langs één lijn werken, is het samenstellen van die krachten eenvoudig. Krachten die in dezelfde richting werken, tel je bij elkaar op. Zijn de krachten tegengesteld gericht aan elkaar, dan trek je ze van elkaar af.

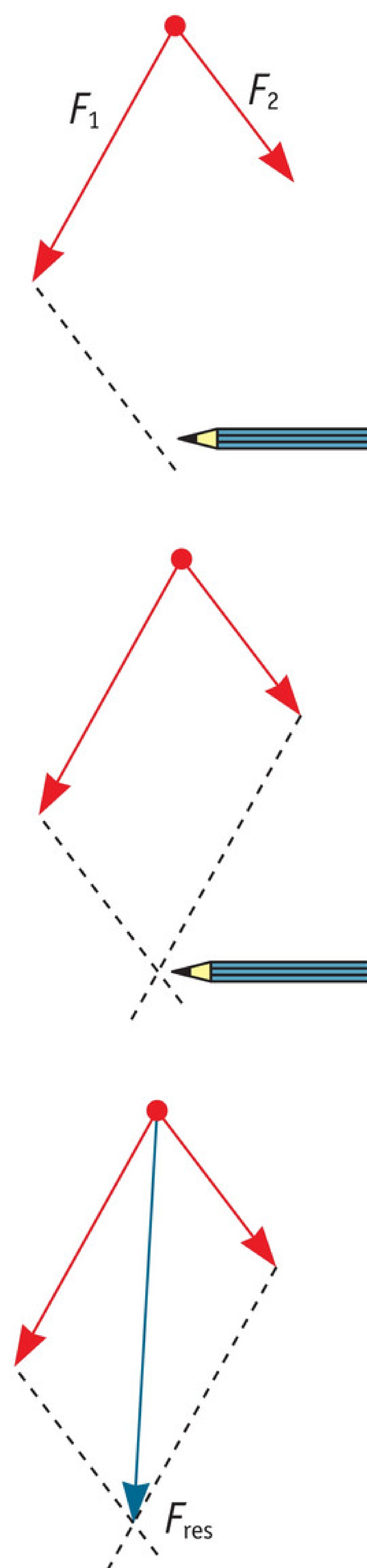


▲ **figuur 7** samenstellen van krachten langs één lijn

In figuur 7a geldt $F_{res} = F_1 + F_2 = 3 + 4 = 7$ N naar rechts.
In figuur 7b geldt $F_{res} = F_2 - F_1 = 4 - 3 = 1$ N naar rechts.

Krachten die een hoek met elkaar maken samenstellen

Als krachten een hoek maken met elkaar, bepaal je de resulterende kracht met de **parallellogrammethode** (figuur 8). Deze methode werkt als volgt.
- Kies een geschikte krachtenschaal. De pijlen moeten niet te klein, maar ook niet te groot zijn.
- Teken de krachten op schaal met de juiste hoek ertussen.
- Beschouw de twee pijlen als de twee zijden van een parallellogram. Maak dit parallellogram af door evenwijdig aan de twee pijlen de twee andere zijden te stippelen.
- Teken een pijl als diagonaal van het parallellogram. Deze pijl begint waar de oorspronkelijke pijlen beginnen (het aangrijpingspunt). De pijl eindigt in het tegenoverliggende hoekpunt van het parallellogram. De richting van deze pijl is de richting van de resulterende kracht.
- Meet de lengte van deze diagonale pijl. Met de afgesproken krachtenschaal kun je nu de grootte van de resulterende kracht bepalen.

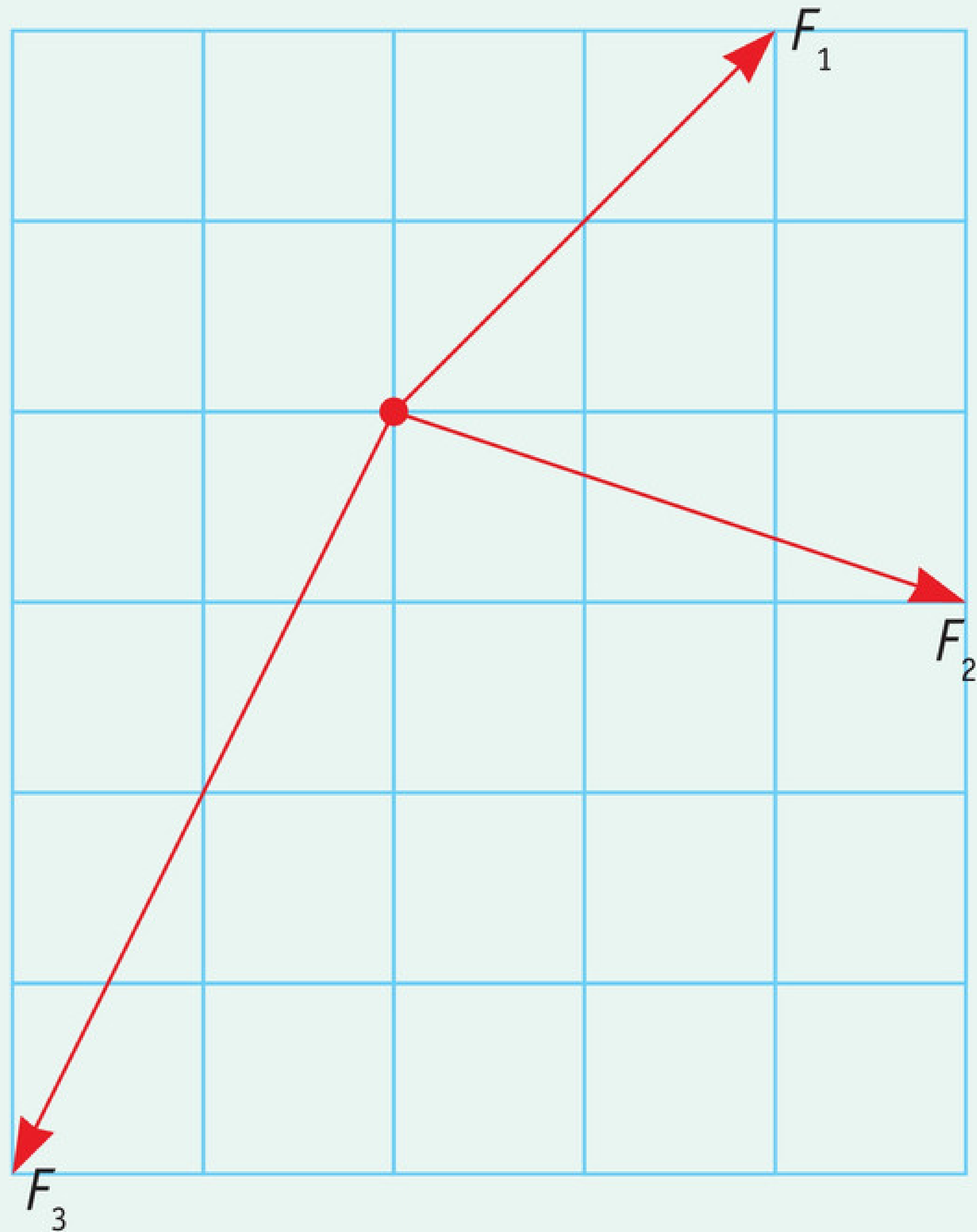


▲ **figuur 8** de parallellogrammethode

Natuurkundigen noemen het tekenen van de resulterende kracht op deze manier een **constructie**. Om de resultante van drie krachten te bepalen, begin je met het krachtenparallellogram van twee van de drie krachten te tekenen. Het maakt hierbij niet uit welke twee krachten je kiest.

Voorbeeldopgave 3

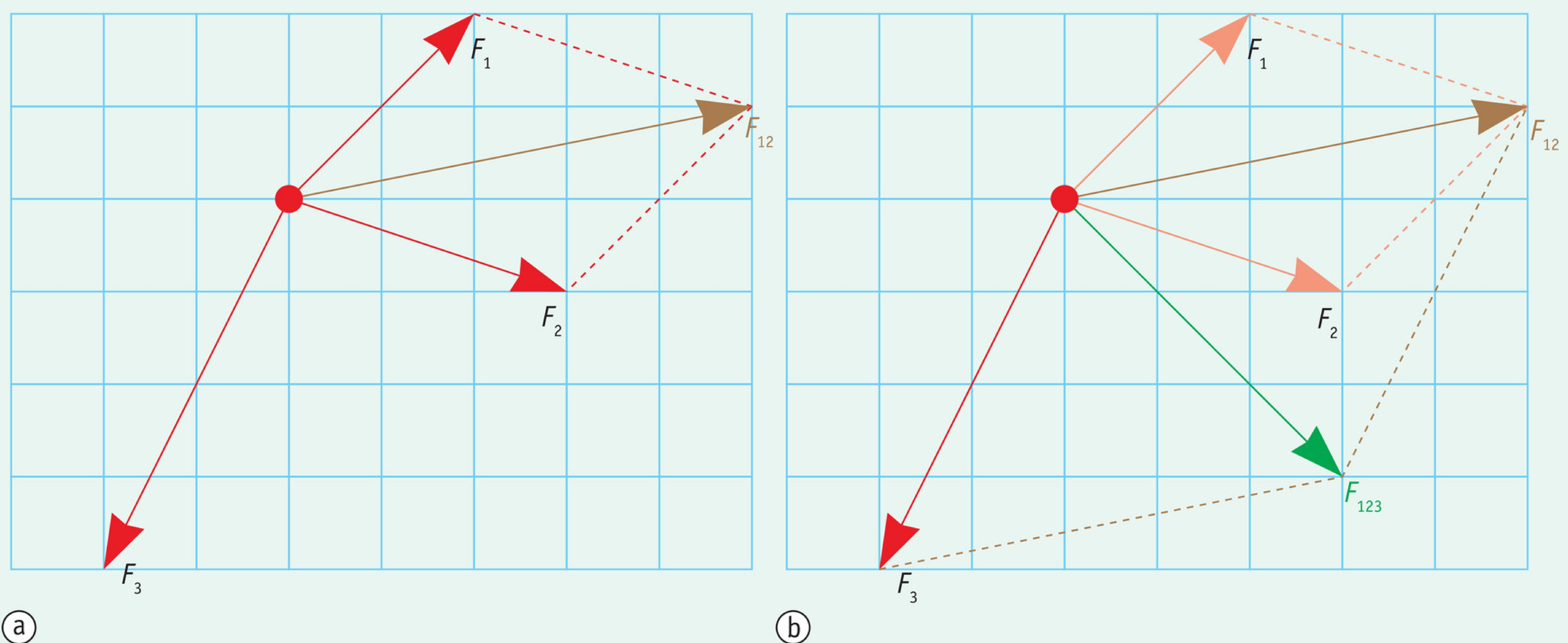
Op een voorwerp werken drie krachten: F_1, F_2 en F_3 (figuur 9).



▲ **figuur 9** Hoe stel je drie krachten samen?

Construeer de resulterende kracht F_{res}.

Uitwerking
Kies twee van de drie krachten: F_1 en F_2. Teken de resultante (F_{12}) van deze twee krachten (figuur 10a). Teken tot slot de resultante van F_{12} en F_3 (figuur 10b).



▲ **figuur 10** drie krachten en hun resultante

Als je met twee andere krachten begint, bijvoorbeeld F_1 en F_3, vind je uiteindelijk dezelfde resulterende kracht.

Loodrechte krachten samenstellen

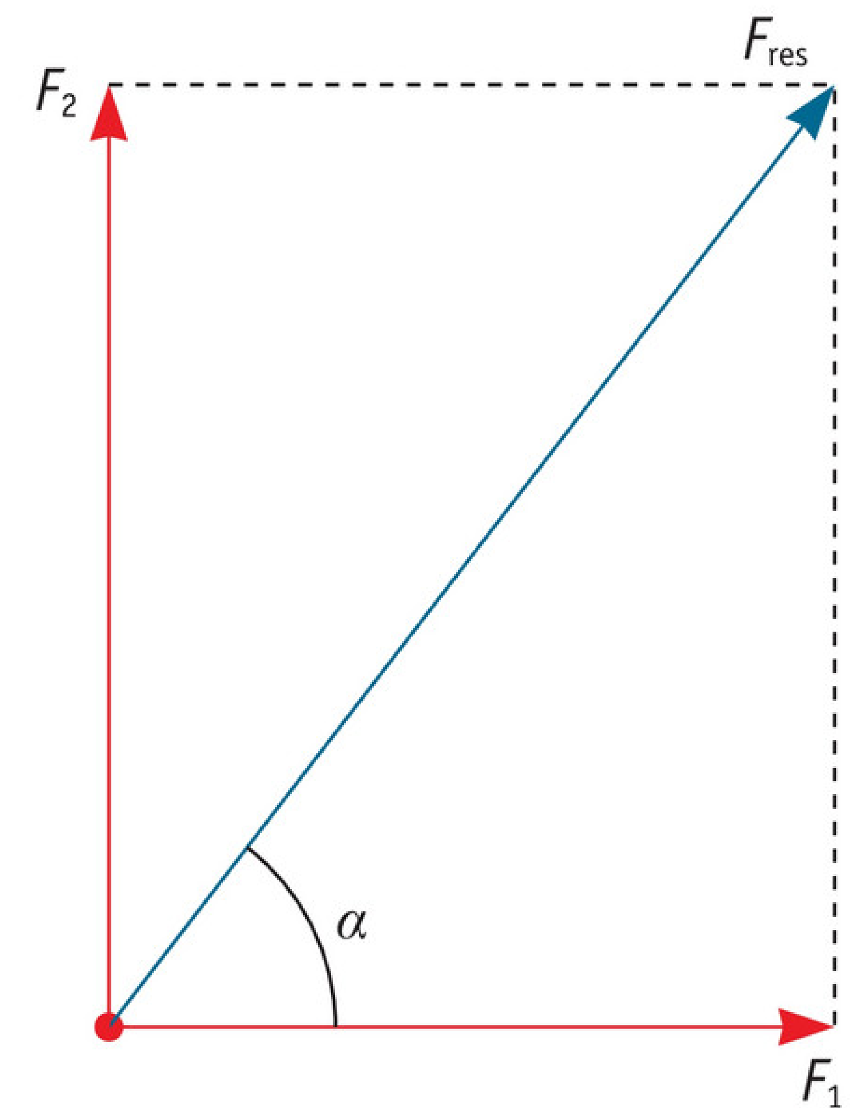
Als je twee krachten moet samenstellen die loodrecht op elkaar staan, wordt het parallellogram een rechthoek. Je kunt de grootte en richting van de resulterende kracht dan bepalen met de hiervoor beschreven parallellogrammethode, maar je kunt ze ook uitrekenen. Dit gaat door de **stelling van Pythagoras** toe te passen en met de definities van sinus, cosinus en tangens in een rechthoekige driehoek:

- sin α = overstaande zijde/schuine zijde;
- cos α = aanliggende zijde/schuine zijde;
- tan α = overstaande zijde/aanliggende zijde.

Het is handig om ook dan een schets te maken, zoals in figuur 11. In deze figuur geldt de stelling van Pythagoras:

$$F_{res}^2 = F_1^2 + F_2^2 \text{ ofwel } F_{res} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$\sin \alpha = \frac{F_2}{F_{res}} \qquad \cos \alpha = \frac{F_1}{F_{res}} \qquad \tan \alpha = \frac{F_2}{F_1}$$



▶ **figuur 11** twee loodrechte krachten F_1 en F_2 en hun resultante F_{res}

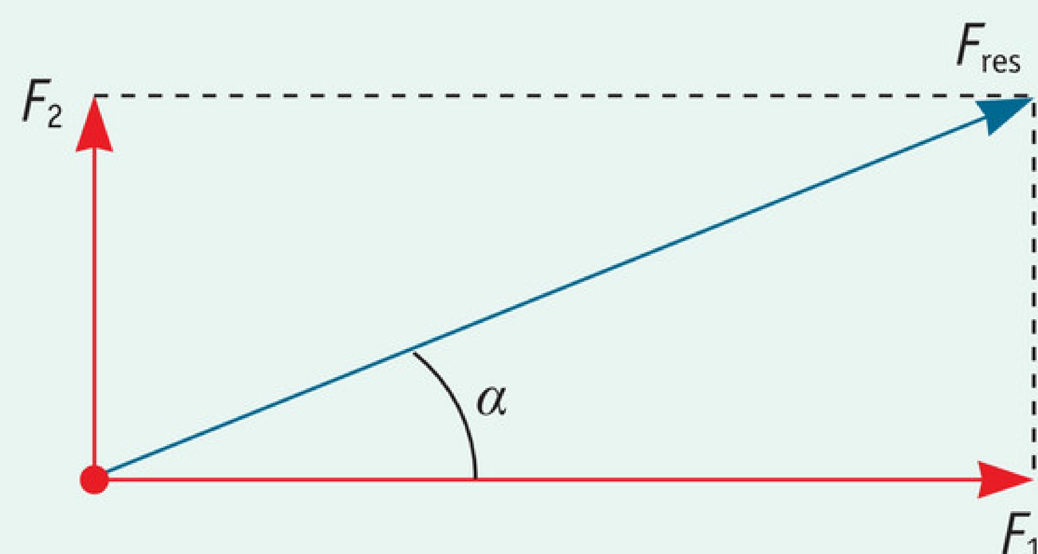
Voorbeeldopgave 4

Op een voorwerp werkt een kracht F_1 = 50 N naar rechts en een kracht F_2 = 20 N loodrecht op F_1 omhoog gericht.

a Bepaal de grootte en de richting van de resulterende kracht ten opzichte van F_1.
b Bereken de grootte en de richting van de resulterende kracht ten opzichte van F_1.

Uitwerking

a Om de grootte van de resulterende kracht te bepalen, teken je de krachten op schaal. In figuur 12 is gekozen voor een schaal van 1,0 cm ≙ 10 N.



▲ **figuur 12** twee krachten en hun resultante

De resulterende kracht is nu te bepalen met de parallellogrammethode. Maak het krachtenparallellogram (dat nu een rechthoek is) en teken hierin de diagonaal. De diagonaal is 5,4 cm lang en dus geldt: F_{res} = 5,4 × 10 = 54 N.
De hoek α van de resulterende kracht ten opzichte van F_1 meet je met een geodriehoek: α = 22°.

b De grootte van de resulterende kracht bereken je met de stelling van Pythagoras:

$$F_{res} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{20^2 + 50^2} = 54\ \text{N}$$

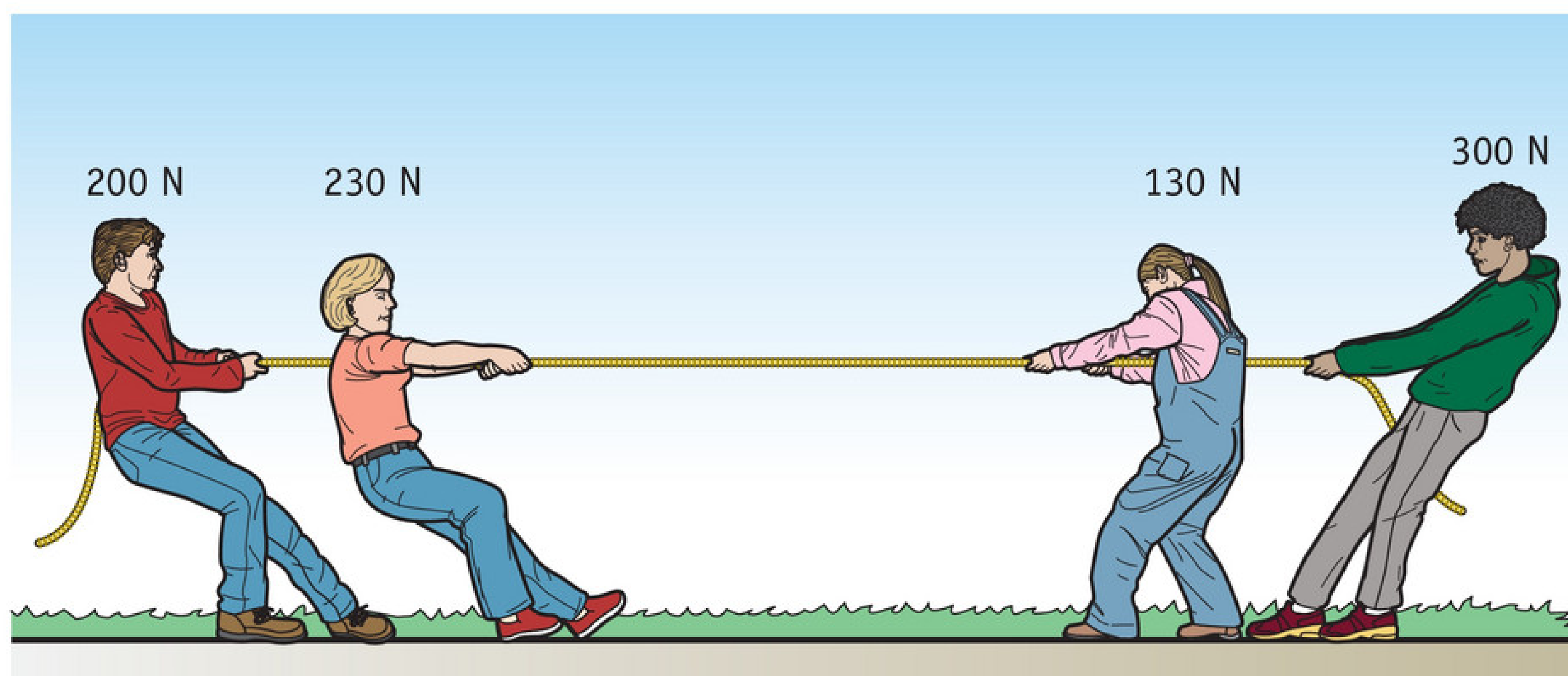
De richting van de kracht kun je bijvoorbeeld met de tangens berekenen:

$$\tan \alpha = \frac{F_2}{F_1} = \frac{20}{50} = 0{,}40 \text{ waaruit volgt dat } \alpha = \tan^{-1} 0{,}40 = 22°.$$

Let op! De berekeningsmethode in deze voorbeeldopgave mag je alleen toepassen als de krachten loodrecht op elkaar staan.

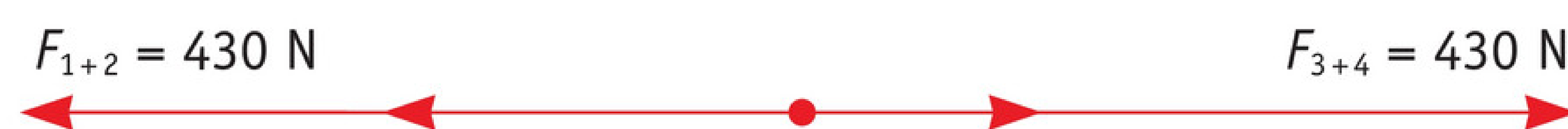
Evenwicht van krachten

Als je met een groepje leerlingen gaat touwtrekken, trekt natuurlijk niet iedereen even hard aan het touw. Zo'n situatie is getekend in figuur 13. Bij elke persoon staat aangegeven met welke kracht aan het touw wordt getrokken. In deze figuur beweegt het touw niet naar links en niet naar rechts. Dit komt doordat er evenwicht van krachten is. De resulterende kracht is: F_{res} = 130 N + 300 N – 200 N – 230 N = 0 N. In het algemeen geldt dat een voorwerp in evenwicht is als de krachten elkaar opheffen en de resulterende kracht dus nul is.



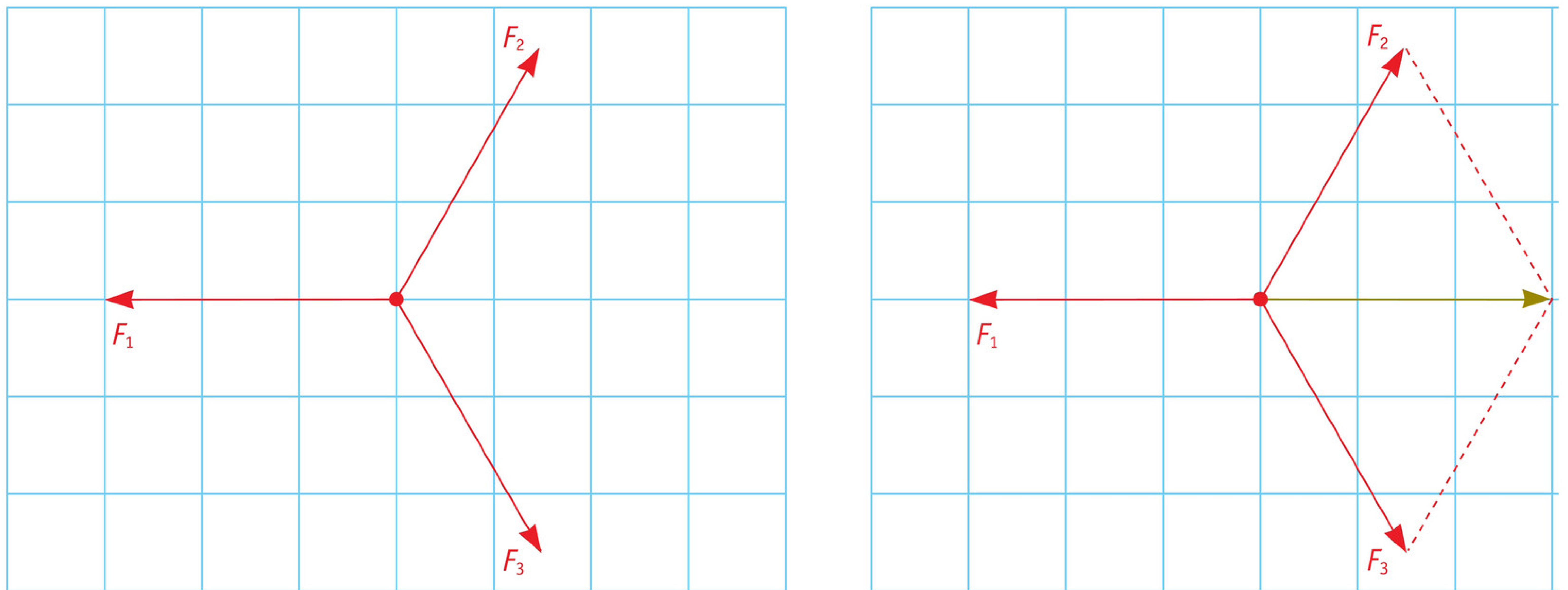
▲ **figuur 13** touwtrekken

Het evenwicht bij het touwtrekken is in figuur 14 vereenvoudigd weergegeven. In deze figuur is alle informatie weggelaten die niet van belang is. Alleen de trekkrachten zijn getekend en het touw is als een punt weergegeven.
Natuurkundigen noemen zo'n tekening een **krachtendiagram**: de krachten op een voorwerp waarvan de vorm en afmetingen niet van belang zijn, teken je dan vanuit één punt.



▲ **figuur 14** evenwicht bij touwtrekken

Ook als krachten een hoek maken met elkaar, kunnen ze in evenwicht zijn. Kijk maar naar figuur 15. Op een voorwerp dat stilstaat, werken drie krachten F_1, F_2 en F_3. Bepaal eerst met de parallellogrammethode de resultante van twee krachten, bijvoorbeeld F_2 en F_3. Noem deze resultante F_{23}. Kracht F_{23} is even groot als F_1 en tegengesteld gericht aan F_1. Dat betekent dat de totale resulterende kracht nul is. Dit is een belangrijk resultaat: een stilstaand voorwerp waarop drie krachten werken, blijft in evenwicht als de resultante van twee van deze drie krachten even groot is als de derde kracht, maar tegengesteld gericht hieraan (figuur 15).



▲ **figuur 15** evenwicht van drie krachten

Onthoud!

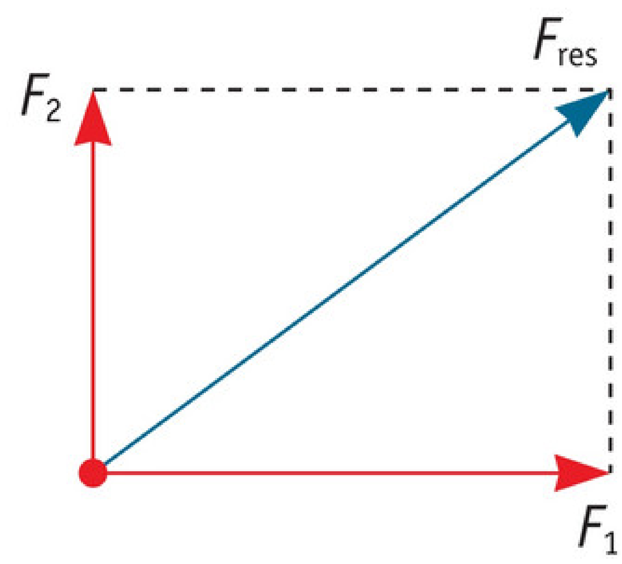
- De resulterende kracht F_{res} is de kracht die dezelfde gevolgen heeft als alle afzonderlijke krachten samen.
- Voor het bepalen van de resulterende kracht van twee krachten onder een hoek maak je gebruik van de parallellogrammethode.
- Als krachten loodrecht op elkaar staan, kun je de grootte en richting van de resulterende kracht berekenen met de stelling van Pythagoras en de definities van sinus, cosinus en tangens in een rechthoekige driehoek.
- Een voorwerp is in evenwicht als de krachten die op dat voorwerp werken elkaar opheffen, zodat de resulterende kracht nul is.
- Een voorwerp waarop drie krachten werken is in evenwicht als de resultante van twee van deze drie krachten even groot is als de derde kracht, maar tegengesteld gericht hieraan.

Opdrachten

8 Krachten samenstellen
Beantwoord de volgende vragen.
a Leg uit wat de parallellogrammethode is.
b Leg uit wat de ‘resulterende kracht’ is.
c Geef de definities van sinus, cosinus en tangens in een rechthoekige driehoek.

9 Resulterende kracht
Op welke twee manieren kun je de grootte en richting van de resulterende kracht van twee loodrechte krachten vinden? Leg beide manieren uit.

10 Krachten bepalen en berekenen
In figuur 16 is een punt getekend waarop twee krachten werken. De krachtenschaal is 1,0 cm ≙ 150 N.

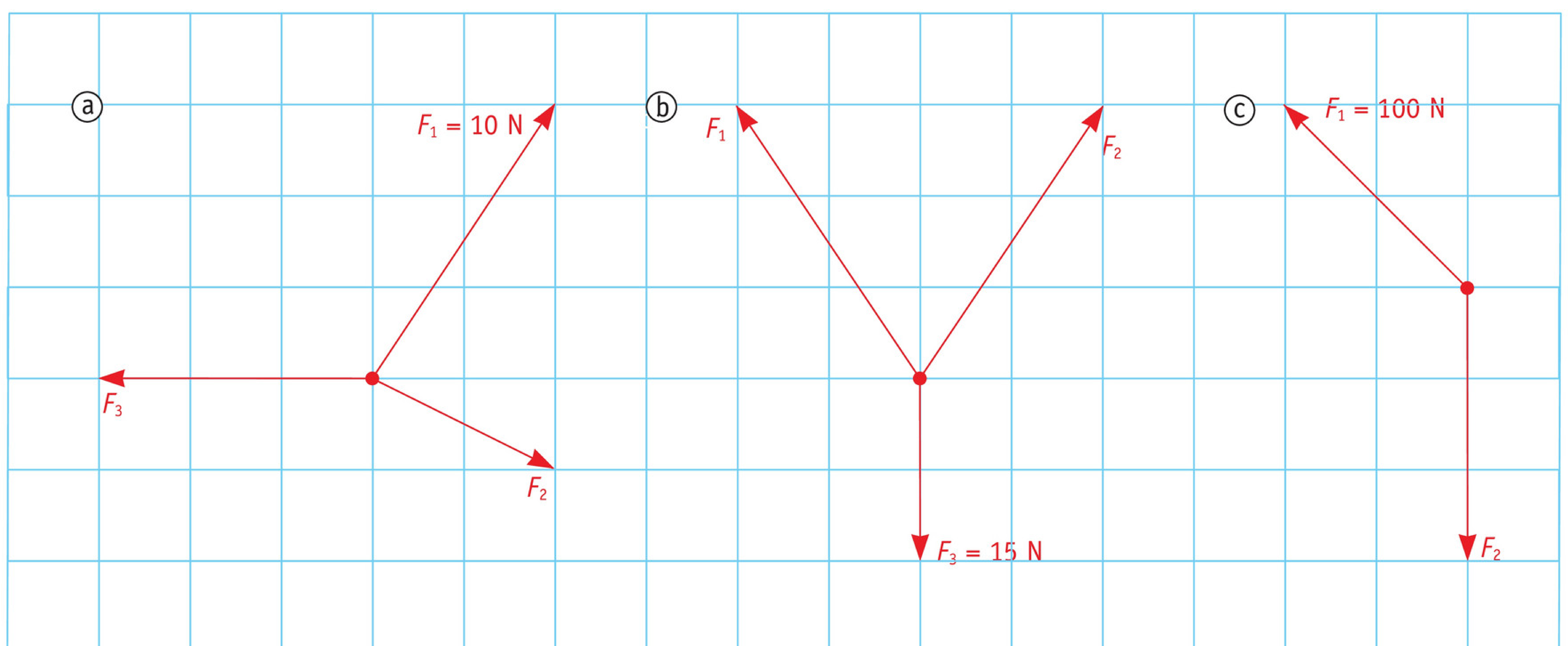


▲ **figuur 16** twee krachten samenstellen

a Bepaal de grootte van F_1 en van F_2.
b Bereken met de antwoorden op opdracht a de grootte van F_{res}.
c Bereken met de antwoorden op opdracht a en b de hoek tussen F_1 en F_{res}.
d Meet de hoek tussen F_1 en F_{res} op in figuur 16. Vergelijk je antwoord met het antwoord op opdracht c en verklaar eventuele verschillen.

11 Krachten samenstellen
Neem figuur 9 uit voorbeeldopgave 3 exact over en bekijk figuur 10.
a Stel de krachten F_2 en F_3 samen tot de resultante F_{23}.
b Construeer de resulterende kracht van F_{23} en F_1.
c Controleer of je dezelfde resultante (F_{123}) hebt gevonden als in figuur 10b. Welke conclusie kun je hieruit trekken?

12 Krachtendiagrammen
In figuur 17 zijn drie krachtendiagrammen getekend.



▲ **figuur 17** Bepaal de resultante.

a Bepaal met een constructie in figuur 17 de richting en de grootte van de resulterende kracht.
b In elk diagram werkt een (niet-getekende) extra kracht waardoor de krachten in evenwicht zijn.
Teken deze extra kracht (met een andere kleur) in de figuren.
c Bepaal voor elk diagram de grootte en de richting van deze extra kracht.

13 Krachten berekenen

Gegeven zijn twee loodrecht op elkaar staande krachten van 15 N (naar rechts) en 10 N (omhoog) die op een voorwerp werken.

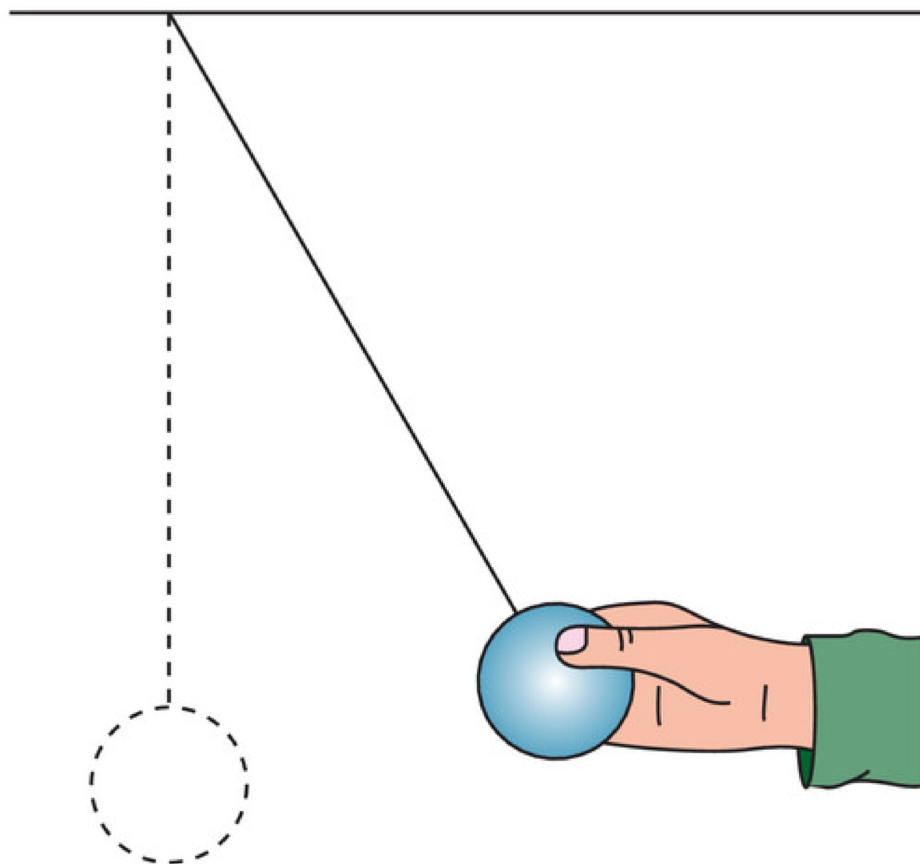
a Schets de twee krachten en de resulterende kracht. (Omdat er 'schets' staat, hoef je de krachten dus niet op schaal te tekenen.)

b Bereken de grootte van de resulterende kracht.

c Bereken de hoek die de resulterende kracht maakt met de kracht van 15 N.

+14 Slinger

Een leerling brengt een slinger in beweging door hem uit de evenwichtsstand naar rechts te trekken met een horizontale kracht F_1 = 0,255 N (figuur 18). De slinger heeft een massa van 45 g.



▲ **figuur 18** een slinger

a Bereken de zwaartekracht op de slinger.

b Teken in figuur 18 F_z en F_1 op schaal. Vermeld de gekozen krachtenschaal. Laat alle krachtpijlen in het midden van de bol beginnen.

c Teken de resultante van F_z en F_1 en noem deze F_{res}.

d Bereken de grootte van F_{res}.

e Op de slinger werkt ook nog de spankracht van het touw.
Bepaal de grootte en richting van deze spankracht vlak voor de leerling de slinger loslaat.

3 Krachten ontbinden

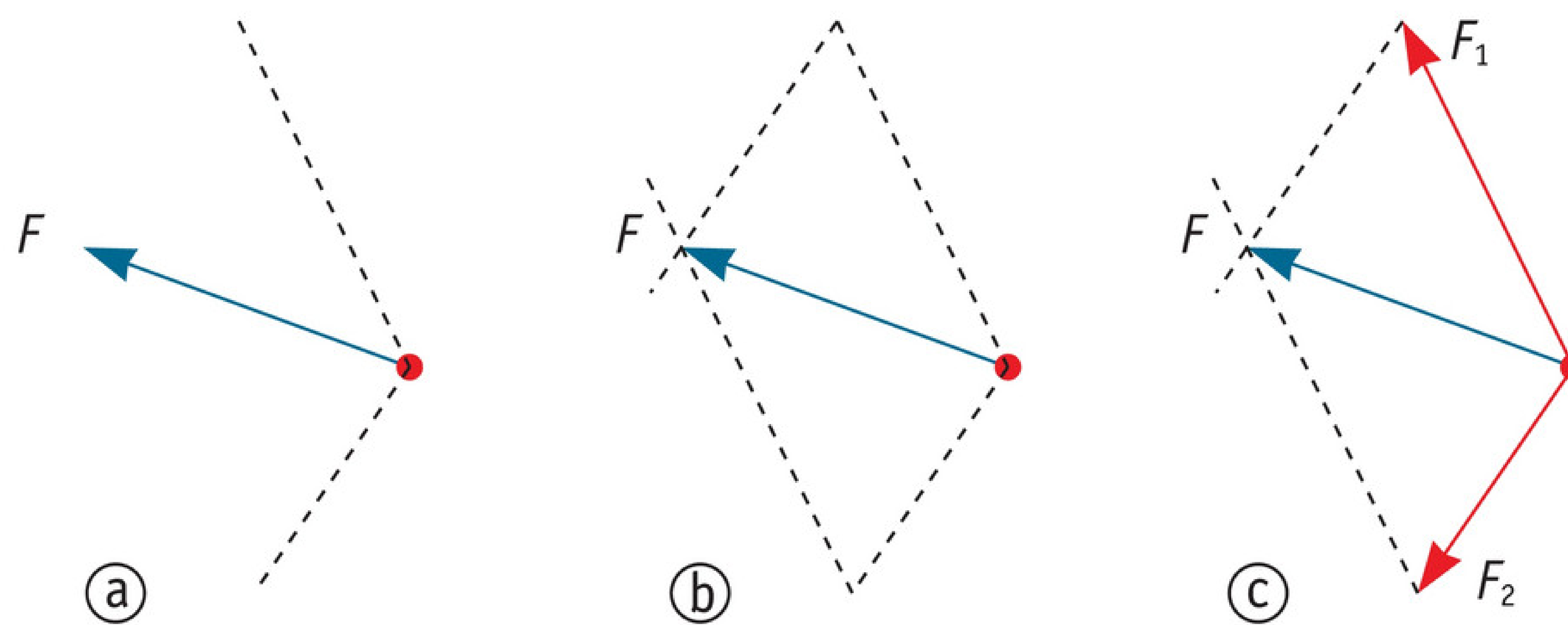
In deze paragraaf leer je:

- dat je een kracht kunt ontbinden in componenten;
- hoe je de grootte van de componenten van een kracht kunt bepalen;
- hoe je bij twee loodrechte componenten de grootte en richting van de kracht kunt berekenen.

In de vorige paragraaf heb je gezien dat je verschillende krachten kunt vervangen door één resulterende kracht. Het omgekeerde kan ook: je vervangt één kracht door twee krachten die dan samen dezelfde gevolgen hebben als de oorspronkelijke kracht.

Een kracht ontbinden in componenten

Het vervangen van één kracht door twee krachten die samen dezelfde gevolgen hebben als de oorspronkelijke kracht, heet het ontbinden van een kracht in componenten. De twee nieuwe krachten zijn de **componenten**.
De richtingen van deze componenten moeten zijn gegeven. In figuur 19a moet de getekende kracht worden ontbonden in twee componenten langs de aangegeven richtingen (de stippellijnen).



▲ **figuur 19** een kracht in componenten ontbinden

Ook nu gebruik je de parallellogrammethode. Deze werkt bij het ontbinden van krachten als volgt:
- De gegeven kracht is de diagonaal van het parallellogram dat je moet tekenen.
- Maak een parallellogram door twee lijnen door de pijlpunt van de gegeven kracht te tekenen evenwijdig aan de gegeven richtingen (figuur 19b).
- Teken nu de twee componenten. Deze pijlen beginnen op dezelfde plaats waar de oorspronkelijke kracht begint en ze eindigen bij de hoekpunten van het parallellogram (figuur 19c).
- Meet de lengte van de twee componenten. Met de afgesproken krachtenschaal kun je nu de grootte van deze componenten bepalen.

Een toepassing van het ontbinden van krachten: evenwicht

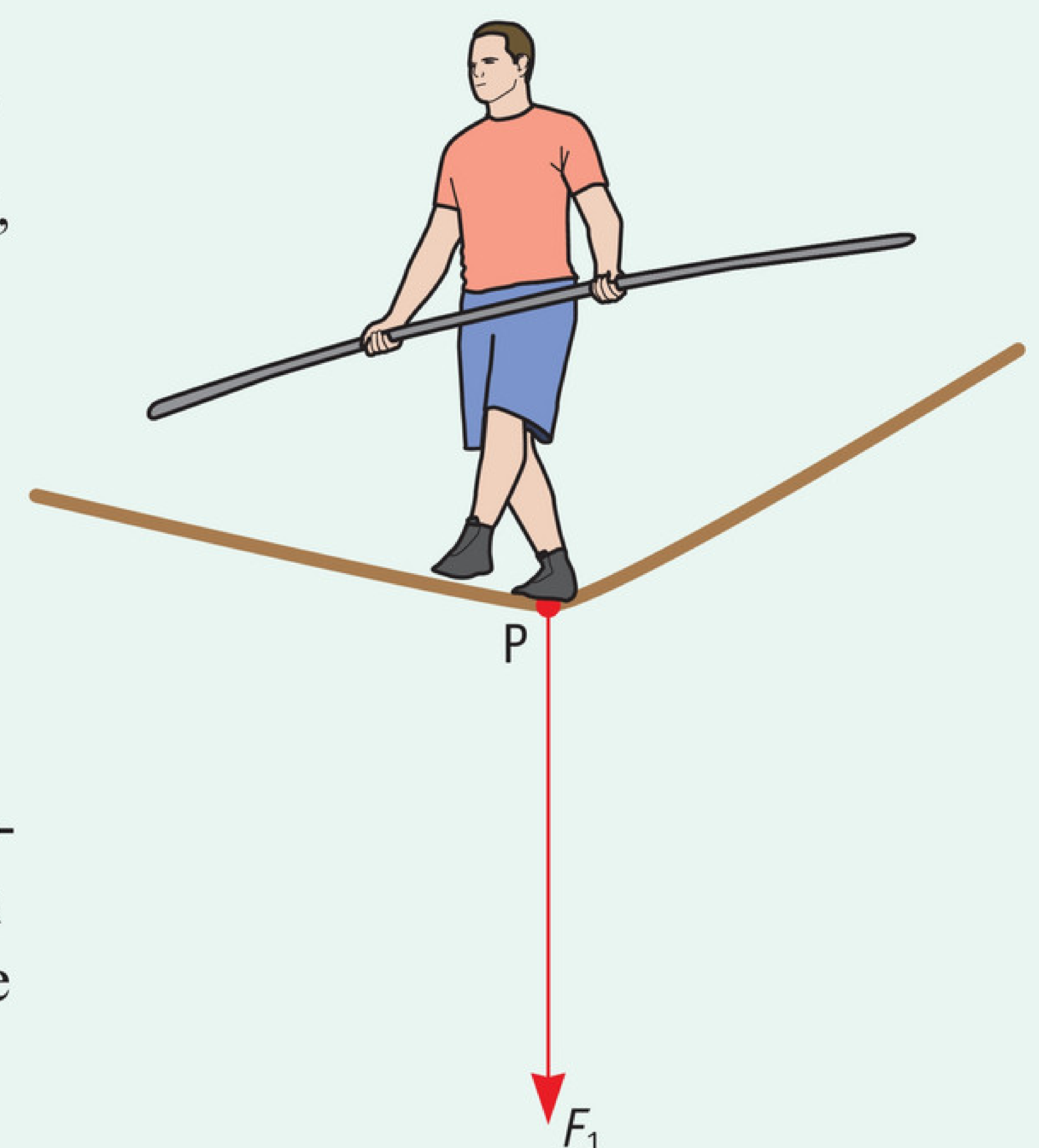
Het ontbinden van een kracht in twee componenten is handig bij het oplossen van evenwichtsvraagstukken. Dat zie je in voorbeeldopgave 5.

Voorbeeldopgave 5

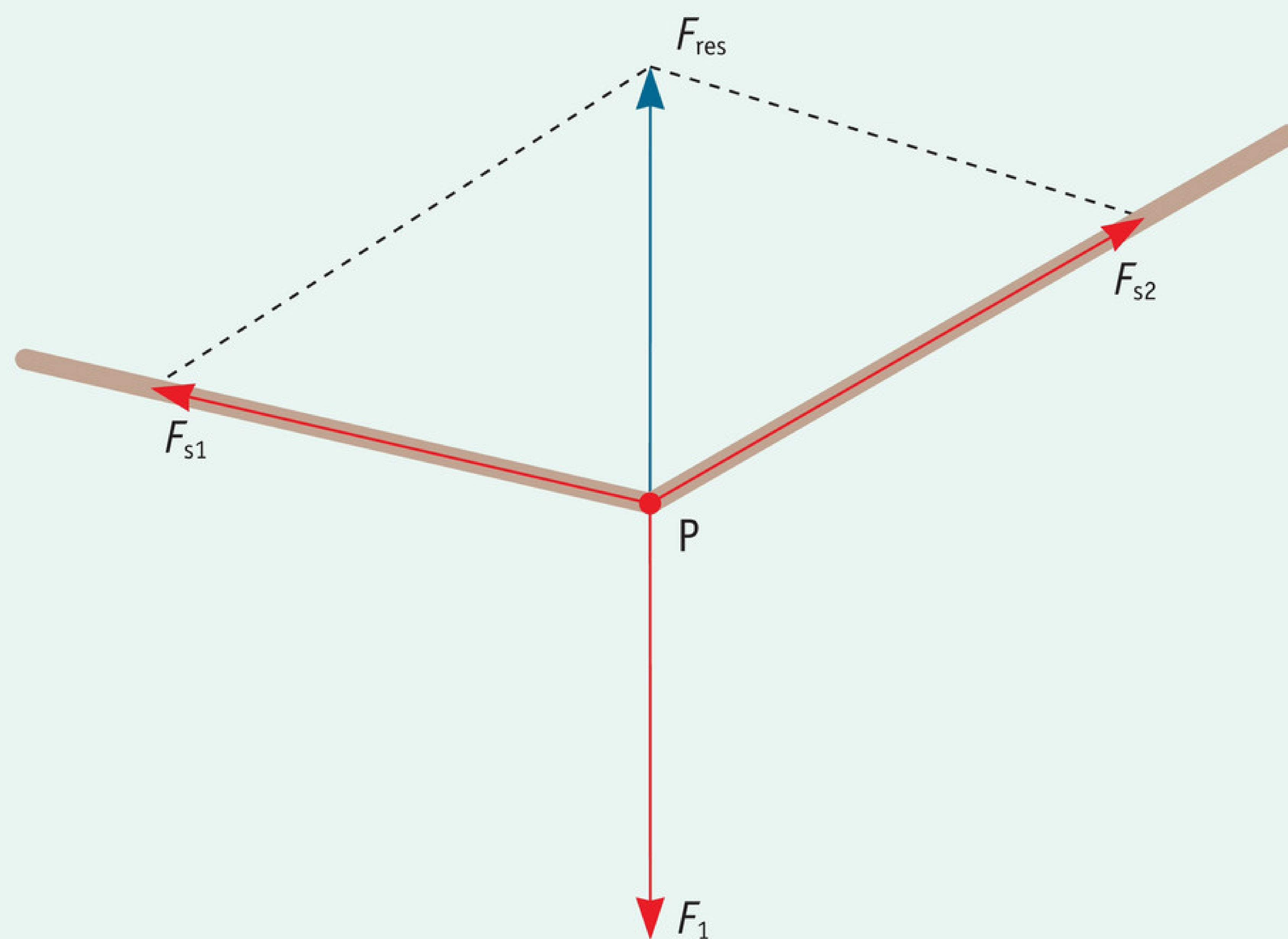
Een koorddanser van 60,0 kg staat midden op een koord (figuur 20).
Bepaal de grootte van de spankrachten in het koord links en rechts van de koorddanser.

Uitwerking
De koorddanser oefent een kracht F_1 van $60{,}0 \times 9{,}81 = 589$ N uit op het touw. Noem dit punt P (figuur 20). Teken de kracht, waarbij je gebruikmaakt van een geschikte krachtenschaal, bijvoorbeeld 1,0 cm ≙ 200 N.

De pijl wordt dus $\frac{589}{200} = 2{,}95$ cm lang. Punt P is in rust, dus moeten de twee spankrachten in het touw links en rechts van dit punt de getekende kracht F_1 opheffen. Je hebt in de vorige paragraaf geleerd dat een voorwerp waarop drie krachten werken in evenwicht is als de resultante van twee van deze drie krachten even groot is als de derde kracht, maar tegengesteld gericht hieraan.



▲ **figuur 20** een koorddanser



◀ **figuur 21** Zo bepaal je de grootte van de twee spankrachten.

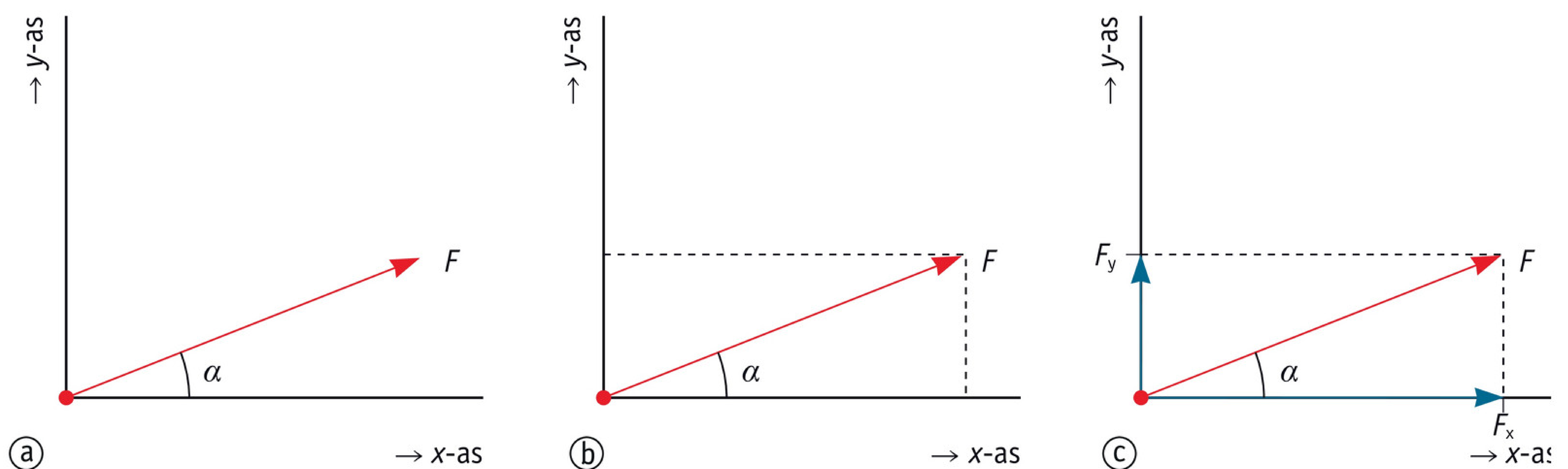
De resultante van de twee spankrachten is dus even groot als F_1 en omhoog gericht. Teken deze resultante F_{res} (figuur 21).
Ontbind de net getekende resultante nu in twee componenten langs het touw links en rechts (figuur 21). De twee componenten zijn de spankrachten F_{s1} en F_{s2} links en rechts van de koorddanser.

F_{s1} is 3,5 cm lang, dus met de krachtenschaal vind je: $F_{s1} = 3{,}5 \times 200 = 7{,}0 \cdot 10^2$ N.
Zo vind je ook $F_{s2} = 3{,}9 \times 200 = 7{,}8 \cdot 10^2$ N.

Merk op dat de lengten van de stukken koord links en rechts van de koorddanser *niet* van belang zijn voor het vinden van het juiste antwoord. Afhankelijk van de krachtenschaal die je kiest, kan het zijn dat de pijlen (componenten) die je moet tekenen dus (veel) korter of zelfs langer zijn dan de lengten van de getekende koorden.

Een kracht ontbinden in twee loodrechte componenten

Een kracht wordt vaak ontbonden in twee loodrecht op elkaar staande componenten, langs de *x*-as en de *y*-as. In figuur 22 zie je hoe je een kracht in een *x*-component en een *y*-component kunt ontbinden.



▲ **figuur 22** Zo ontbind je een kracht in een *x*- en een *y*-component.

De grootte van de componenten F_x en F_y is weer op dezelfde manier te *bepalen*:
- Je spreekt een krachtenschaal af en tekent de kracht F die moet worden ontbonden op schaal en onder de juiste hoek.
- Teken de componenten en meet de lengte op.
- Bereken vervolgens met de krachtenschaal de grootte van de componenten.

In figuur 22 geldt F = 78 N, de gekozen krachtenschaal is 1,0 cm ≙ 20 N. Ga na dat voor de componenten geldt:
F_x = 72 N
F_y = 28 N

Componenten berekenen

Als de hoek tussen een van de componenten en kracht F bekend is, kun je de componenten van een kracht ook *berekenen*. Zo geldt in figuur 22c:

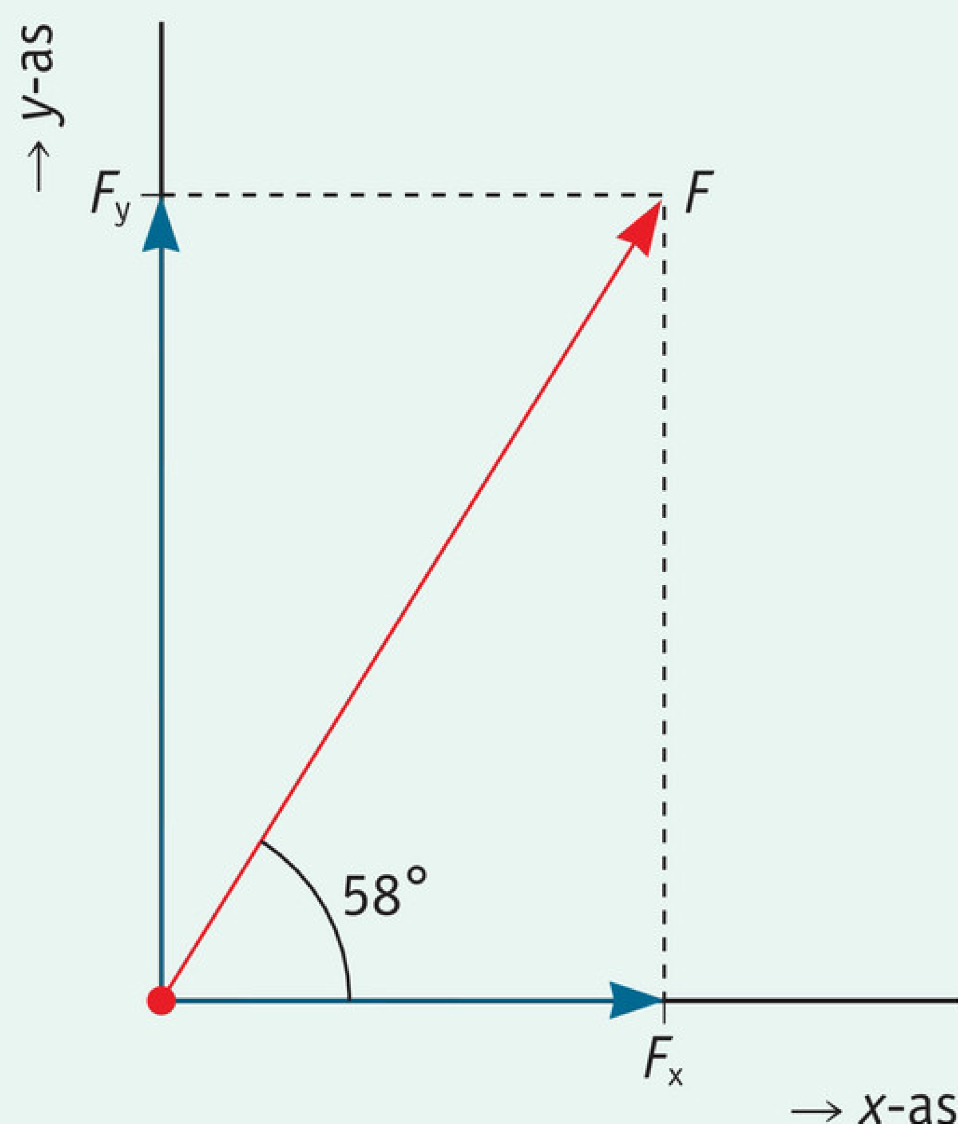
$$F^2 = F_x^2 + F_y^2$$

$$\sin \alpha = \frac{F_y}{F} \qquad \cos \alpha = \frac{F_x}{F} \qquad \tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

Voorbeeldopgave 6

Kracht F heeft een x-component van 67 N. De kracht maakt een hoek van 58° met de x-as. Bereken de grootte van kracht F en van de y-component F_y.

Uitwerking
In figuur 23 is de situatie (niet op schaal) getekend.



▲ **figuur 23** een kracht ontbonden in een *x*- en een *y*-component

Er geldt: $\cos 58° = \frac{F_x}{F} = \frac{67}{F}$

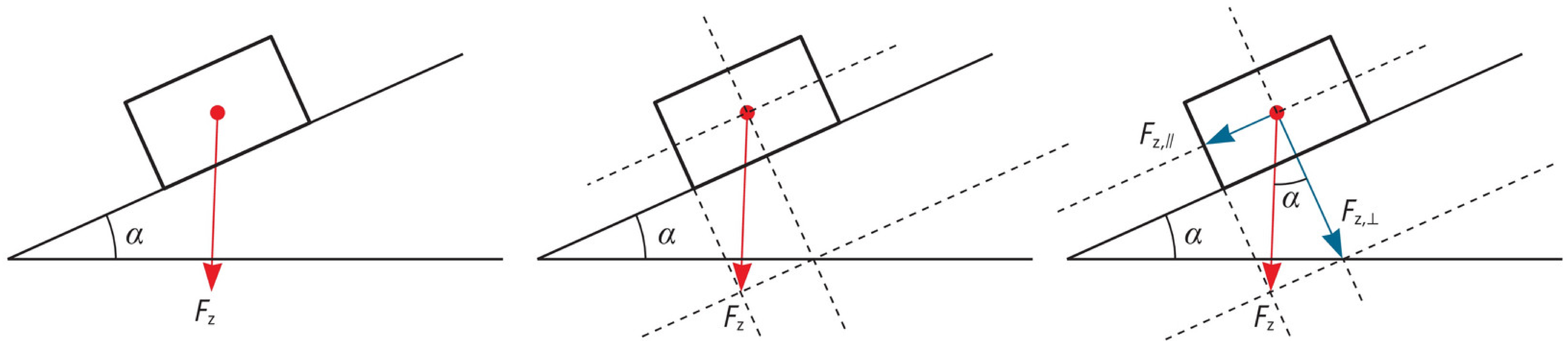
Hieruit volgt: $F = \frac{67}{\cos 58°} = 1{,}3 \cdot 10^2$ N

$\tan 58° = \frac{F_y}{F_x} = \frac{F_y}{67}$

Hieruit volgt: $F_y = 67 \times \tan 58° = 1{,}1 \cdot 10^2$ N
Dit is niet de enige oplossing. Je kunt ook gebruikmaken van de sinus van de hoek van 58° of van de stelling van Pythagoras. Je vindt dan natuurlijk dezelfde antwoorden.

Het hellend vlak

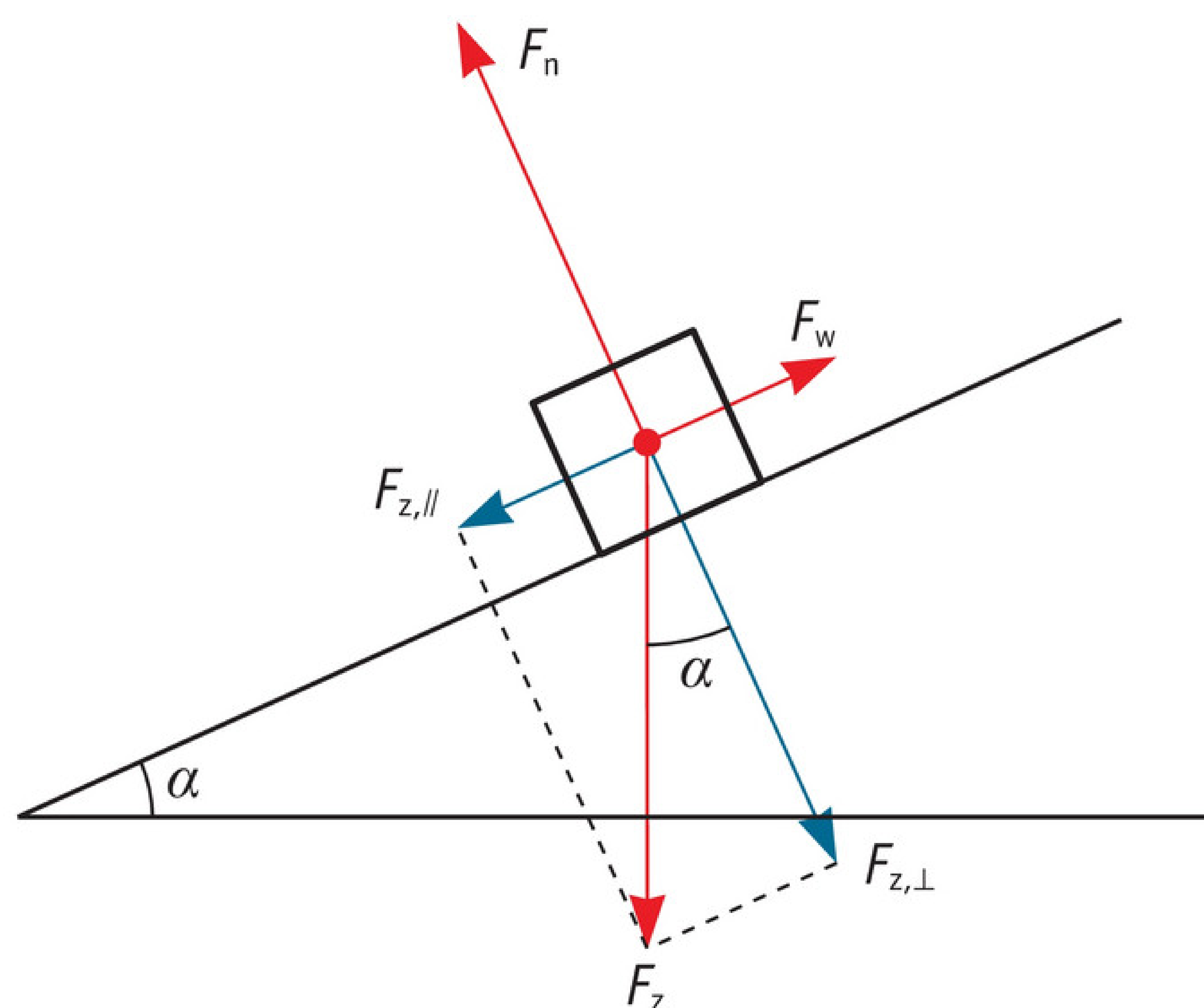
Het hellend vlak is een toepassing van het ontbinden van een kracht in twee loodrecht op elkaar staande componenten. Je kunt daarbij denken aan een auto op een berghelling of een skiër tijdens een afdaling. Omdat de beweging van de auto of skiër langs het vlak plaatsvindt, is het handig om de zwaartekracht te ontbinden in een component $F_{z,\perp}$ loodrecht op het hellend vlak, en een component $F_{z,//}$ evenwijdig aan het hellend vlak. Dit is in figuur 24 stap voor stap getekend.



▲ **figuur 24** ontbinden van de zwaartekracht op een hellend vlak

De zwaartekracht veroorzaakt twee effecten:
- Hij duwt het voorwerp tegen het vlak aan. Dat doet $F_{z,\perp}$.
- Hij probeert het voorwerp langs het vlak omlaag te trekken. Dat doet $F_{z,//}$.

Als een voorwerp stilligt op een helling, is de resulterende kracht op het voorwerp nul. Dat betekent dat de krachten die loodrecht op het hellend vlak op het voorwerp werken, elkaar opheffen. Ook de krachten die evenwijdig aan het hellend vlak op het voorwerp werken, heffen elkaar op.
In figuur 25 is een doos getekend die stilligt op een helling. Ook zijn alle krachten getekend die op de doos werken (het krachtendiagram) en is de zwaartekracht al ontbonden in twee loodrechte componenten. Omdat de doos stilligt, moet er dus een kracht op de doos werken die $F_{z,\perp}$ opheft. Deze kracht staat ook loodrecht op de helling en is tegengesteld gericht aan $F_{z,\perp}$. Dit is de normaalkracht F_n. Voor de grootte van de krachten geldt: $F_n = F_{z,\perp}$.



▲ **figuur 25** Een doos ligt stil op een helling.

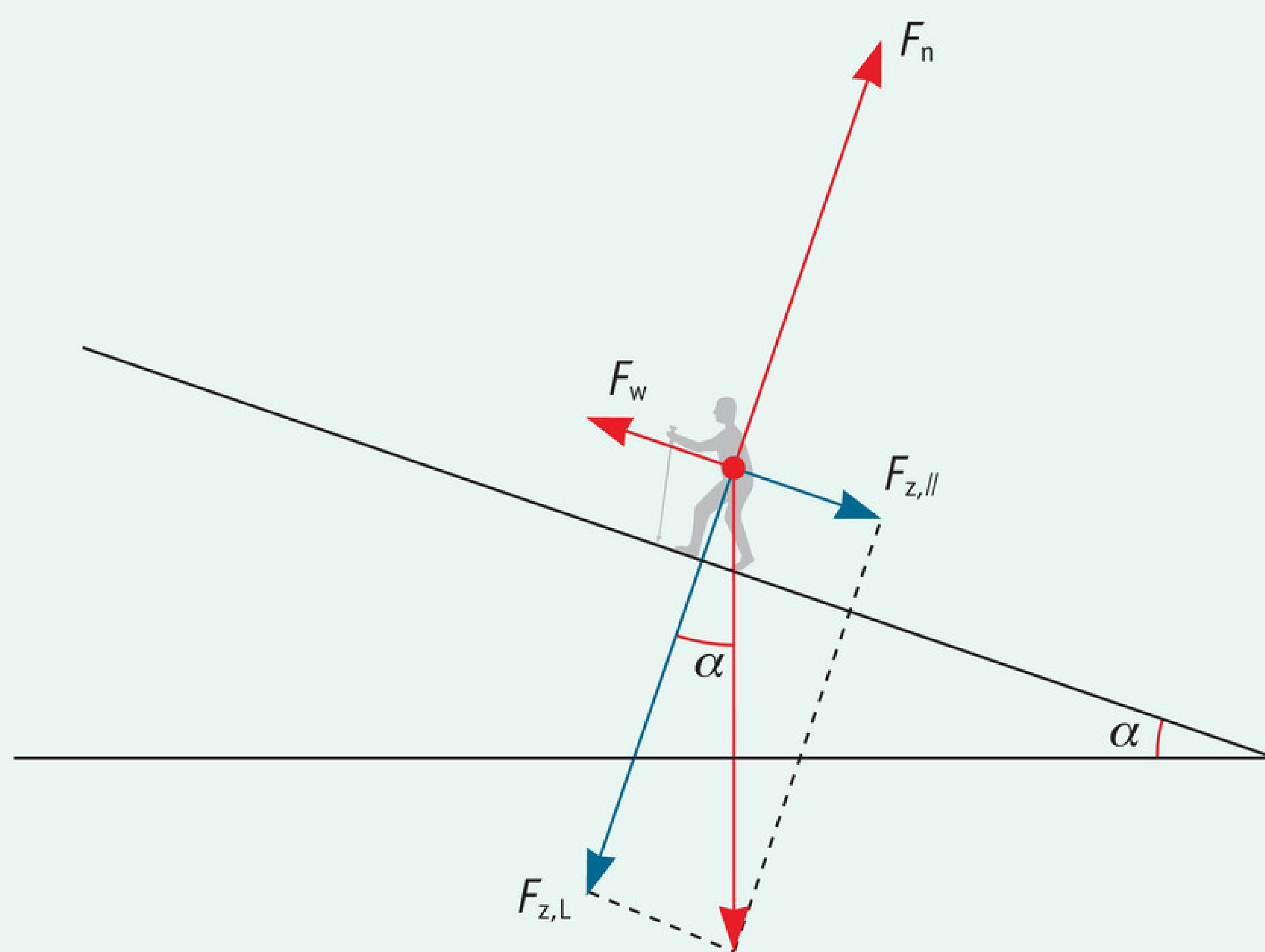
Er moet ook een kracht op de doos werken die $F_{z,//}$ opheft. Deze kracht werkt evenwijdig aan de helling, langs de helling omhoog. Dat is de wrijvingskracht F_w die het omlaagglijden van de doos verhindert. Er geldt: $F_w = F_{z,//}$.

De krachten in figuur 25 hebben in werkelijkheid verschillende aangrijpingspunten. In de figuur zie je nogmaals dat het vaak handig is om in een krachtendiagram de krachten op een voorwerp vanuit één punt te tekenen. Verder moet je erop letten dat je in een krachtendiagram alleen de krachten tekent die op het voorwerp zelf werken. Je tekent dus niet de krachten die het voorwerp uitoefent op een ander voorwerp, zoals de kracht van de doos op de ondergrond (de gewichtskracht).

Voorbeeldopgave 7

Een bergbeklimmer van 79,0 kg staat stil op een berghelling met een hellingshoek van 19°. Bepaal de normaalkracht en de wrijvingskracht die op de bergbeklimmer werken.

Uitwerking
De zwaartekracht op de bergbeklimmer is $F_z = m \cdot g = 79{,}0 \times 9{,}81 = 7{,}75 \cdot 10^2$ N.
Teken de helling onder de juiste hoek (figuur 26). Kies een geschikte krachtenschaal (1,0 cm ≙ 250 N) en teken de kracht F_z op schaal. De pijl wordt dus $\frac{775}{250} = 3{,}10$ cm lang.



▲ **figuur 26** een bergbeklimmer op een helling

Teken de component $F_{z,//}$ en $F_{z,\perp}$ en meet de lengte op. Zo vind je: $F_{z,\perp}$ is 2,9 cm lang, dus $F_{z,\perp} = 2{,}9 \times 250 = 7{,}3 \cdot 10^2$ N.
$F_{z,//}$ is 1,0 cm lang, dus $F_{z,//} = 1{,}0 \times 250 = 2{,}5 \cdot 10^2$ N.
De bergbeklimmer staat stil, dus geldt:
$F_n = F_{z,\perp} = 7{,}3 \cdot 10^2$ N
$F_w = F_{z,//} = 2{,}5 \cdot 10^2$ N

In voorbeeldopgave 8 zie je hoe je bij een bekende hellingshoek α de normaalkracht en wrijvingskracht kunt *berekenen*.

Voorbeeldopgave 8

Bereken de normaalkracht en de wrijvingskracht op de bergbeklimmer uit voorbeeldopgave 7.

Uitwerking
Omdat er staat *bereken*, mag je de componenten niet opmeten. In het krachtendiagram van figuur 26 zijn alle krachten en de componenten van de zwaartekracht al weergegeven. Hellingshoek α is ook terug te vinden in de krachtendriehoek. Het is de hoek tussen $F_{z,\perp}$ en F_z (ga dit na).
Als hellingshoek α bekend is (α = 19°), zijn de componenten van de zwaartekracht als volgt te berekenen:

$$\sin \alpha = \frac{F_{x,//}}{F_z}, \text{ dus } F_{z,//} = F_z \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 79{,}0 \times 9{,}81 \times \sin 19° = 2{,}52 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\cos \alpha = \frac{F_{z,\perp}}{F_z}, \text{ dus } F_{z,\perp} = F_z \cdot \cos \alpha = m \cdot g \cdot \cos \alpha = 79{,}0 \times 9{,}81 \times \cos 19° = 7{,}32 \cdot 10^2 \text{ N}$$

Omdat de bergbeklimmer stilstaat, geldt weer:
$F_n = F_{z,\perp} = 7{,}32 \cdot 10^2$ N
$F_w = F_{z,//} = 2{,}52 \cdot 10^2$ N

▶ **EXPERIMENT 1** Krachten op een karretje

Onthoud!

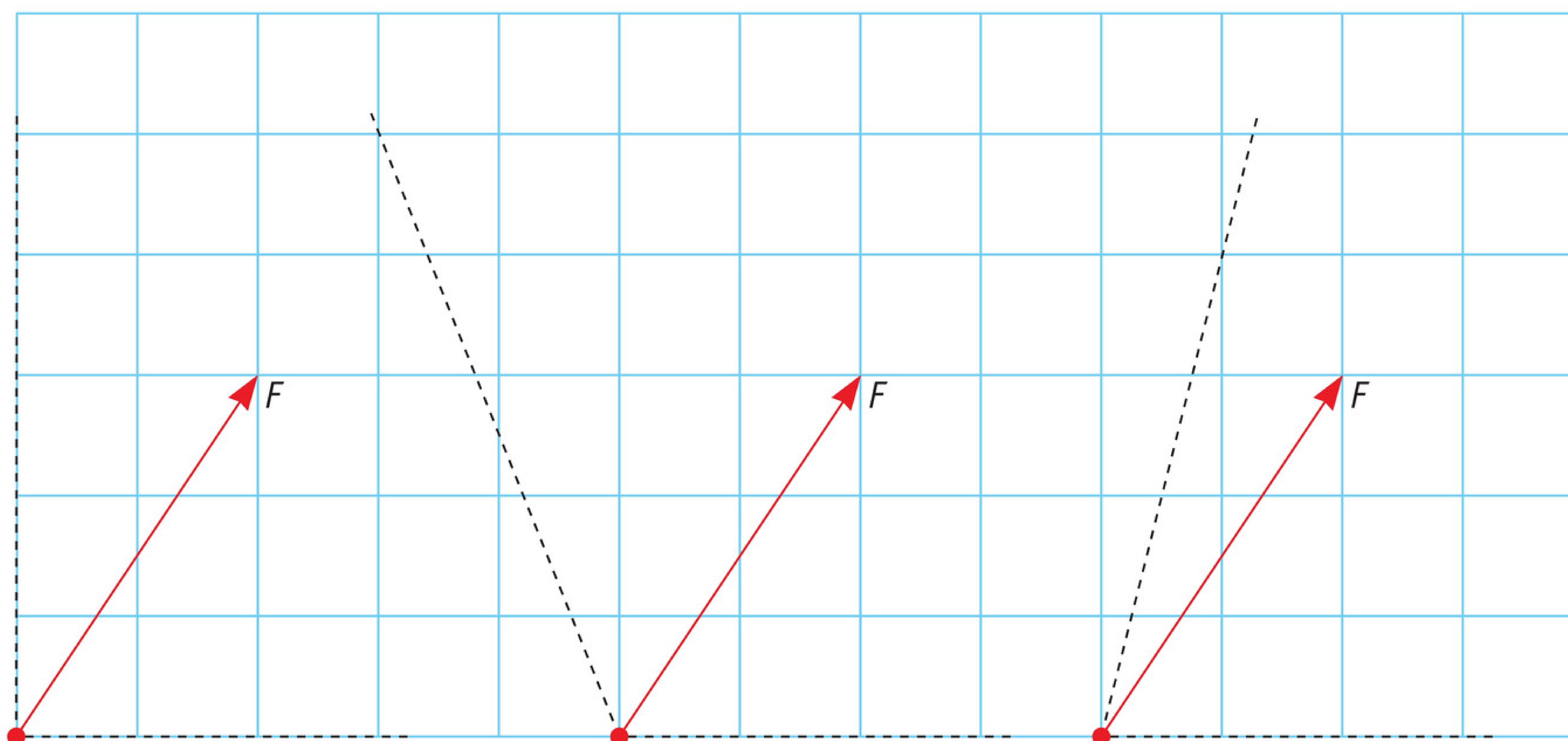
- Je kunt met de parallellogrammethode een kracht ontbinden in componenten.
- Met een constructie (exacte tekening op schaal) kun je de grootte van de componenten van een kracht bepalen.
- Als je een kracht ontbindt in twee loodrechte componenten, kun je de grootte van deze componenten ook berekenen met de stelling van Pythagoras en de definities van sinus, cosinus en tangens in een rechthoekige driehoek.
- Bij een hellend vlak ontbind je de zwaartekracht in een component $F_{z,//}$ evenwijdig aan de helling en een component $F_{z,\perp}$ loodrecht op de helling.
- De normaalkracht is bij een hellend vlak even groot als $F_{z,\perp}$.

Opdrachten

15 Krachten ontbinden
Maak de volgende opdrachten.
- **a** Leg met een tekening uit hoe je een kracht ontbindt in twee componenten die niet loodrecht op elkaar staan.
- **b** Leg uit hoe je bij opdracht a de grootte van de componenten kunt bepalen.
- **c** Teken een kracht (F) en ontbind deze in twee loodrecht op elkaar staande componenten (F_x en F_y).
- **d** Noem de hoek tussen F en F_x hoek α en leg uit hoe je de grootte van de componenten uit opdracht c kunt berekenen.
- **e** Teken een voorwerp op een helling (met hellingshoek α) en geef met een vectorpijl de zwaartekracht aan die op dat voorwerp werkt. Ontbind deze zwaartekracht in twee componenten: één loodrecht op de helling ($F_{z,\perp}$) en één evenwijdig aan de helling ($F_{z,//}$).
- **f** Leg uit hoe je de twee componenten van opdracht e kunt berekenen.

16 Componenten

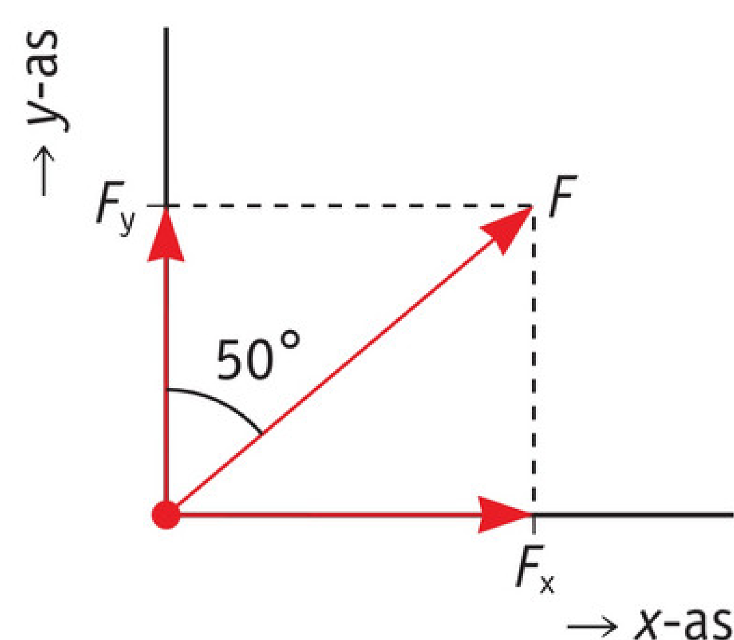
Kracht F in figuur 27 is 50 N. Ontbind de kracht in elke tekening in twee componenten, telkens in de aangegeven richtingen. Bepaal ook de grootte van de componenten.



▲ **figuur 27** eenzelfde kracht drie keer ontbinden in componenten

17 Hangbrug

In de kabel van een hangbrug werkt een spankracht van 25 kN onder een hoek van 50° met de y-as (figuur 28).



▲ **figuur 28** een kracht van 25 kN ontbinden

a Bepaal met behulp van de figuur de grootte van de x- en y-component van deze kracht.
b Bereken de grootte van de x- en y-component van deze kracht.

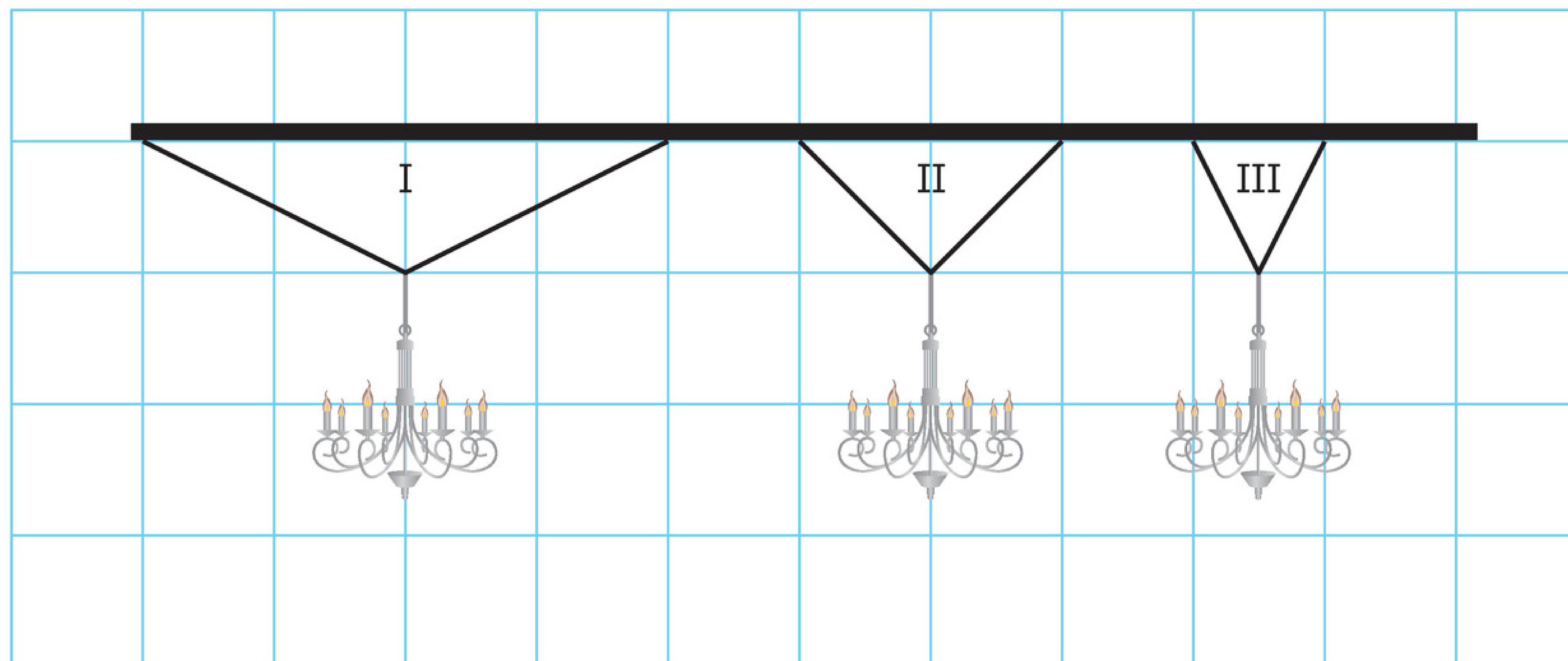
18 Kist

Een kist gevuld met 30 appels staat stil op een helling van 20°. De zwaartekracht die op de kist werkt, is 800 N.

a Teken de situatie en geef in je tekening de zwaartekracht aan met een pijl van 4,0 cm.
b Ontbind de zwaartekracht in je tekening in een component evenwijdig aan de helling, en een component loodrecht op de helling.
c Teken de normaalkracht op de kist in de juiste verhouding tot $F_{z,\perp}$ en bepaal de normaalkracht die op de kist met appels werkt.
d Teken de wrijvingskracht op de kist in de juiste verhouding tot $F_{z,//}$ en bepaal de wrijvingskracht die op de kist werkt.

19 Helling
Op een voorwerp werkt een zwaartekracht van 0,040 N. Het voorwerp staat stil op een helling van 25°.
a Schets de situatie en geef de drie krachten op het voorwerp aan in de juiste richting.
b Bereken de grootte van deze krachten.

20 Lamp
Bas wil een lamp ophangen. Het plafond is van een materiaal gemaakt dat niet geschikt is om er een schroefoog in vast te draaien waaraan een last van meer dan 100 N komt te hangen. Om de kracht op het schroefoog te verkleinen, besluit Bas twee schroefogen te gebruiken en een stuk touw. Met deze twee schroefogen lukt het hem om de lamp stevig te monteren.



▲ **figuur 29** drie manieren om een lamp op te hangen

In figuur 29 zie je drie manieren om de lamp op te hangen. De lamp heeft een massa van 12,2 kg.
a Bepaal in figuur 29 voor elke manier de spankracht in het touw.
b Leg uit welke manier in de gegeven situatie de meest geschikte is om de lamp op te hangen.

4 De eerste wet van Newton

In deze paragraaf leer je:
- de eerste wet van Newton;
- wat traagheid is.

Al meer dan driehonderd jaar geleden voerde de Engelse natuurkundige Isaac Newton onderzoek uit naar krachten en bewegingen. Dit leidde tot een aantal wetten: de wetten van Newton. Hij maakte bij zijn onderzoek dankbaar gebruik van eerdere onderzoeken uitgevoerd door de Italiaan Galileo Galilei.

▶ **EXPERIMENT 2** Krachten

Traagheidswet

Als je een houten blokje op een vloerkleed legt en het blokje een zetje geeft, zal het blokje door de tegenwerkende kracht van het vloerkleed snel tot stilstand komen. Herhaal je dezelfde proef op een laminaatvloer, dan is die tegenwerkende kracht blijkbaar minder groot, want het blokje schuift veel verder door. Breng je op de vloer een zeer gladde laag aan, bijvoorbeeld van groene zeep, dan glijdt het blokje nog veel verder. Er is dan bijna geen tegenwerkende kracht van die vloer.
Galilei veronderstelde dat, als er geen tegenwerkende kracht meer is, een voorwerp zijn snelheid langs een rechte lijn behoudt. Newton werkte dit idee verder uit in zijn eerste wet: een voorwerp waarop geen kracht werkt of waarop de krachten die erop werken elkaar opheffen, behoudt zijn snelheid. Dat geldt voor de grootte en richting van de snelheid. Als het voorwerp in rust is, zal het in rust blijven. De eerste wet van Newton wordt ook wel de **traagheidswet** genoemd.

Als er geen tegenwerkende (wrijvings)krachten zijn, heb je dus geen kracht nodig om een voorwerp met constante snelheid (langs een rechte lijn) te laten bewegen. Denk maar aan de beweging van een ruimtevaartuig in het heelal. Waarom deze wet de 'traagheidswet' wordt genoemd, wordt duidelijk aan de hand van de volgende voorbeelden.

- Als de bestuurder van een snelle sportwagen gas geeft, word je als inzittende diep in de rugleuning 'geduwd'. De snelheidstoename van de auto wordt niet meteen overgenomen door je lichaam. Je blijft tijdelijk achter ten opzichte van de auto.
- Wanneer een rijdende auto plotseling krachtig remt, schieten de passagiers naar voren. In dit geval kunnen de passagiers de plotselinge snelheidsafname niet meteen overnemen. Daarom is het belangrijk altijd een gordel te dragen in de auto.
- Een auto die met grote snelheid door een bocht gaat, zal bij gladheid 'uit de bocht vliegen': rechtdoor rijden in plaats van met de bocht mee te gaan.

Deze voorbeelden maken duidelijk dat een voorwerp zich als het ware verzet tegen een verandering van snelheid (grootte en richting). Dat effect heet **traagheid**. De traagheid van een voorwerp is gekoppeld aan zijn massa. Hoe groter de massa, des te groter de traagheid.

Onthoud!

- Als op een voorwerp geen (resulterende) kracht werkt, blijft het voorwerp in rust als het in rust was of houdt het zijn eenparig rechtlijnige beweging (beweging langs een rechte lijn met constante snelheid). Dit heet de eerste wet van Newton.
- De eigenschap dat een voorwerp zich tegen een snelheidsverandering verzet, wordt traagheid genoemd.

Opdrachten

21 Snelheid en traagheid
Beantwoord de volgende vragen.
a Welke (drie) soorten snelheidsverandering zijn er?
b Wat kun je zeggen over de snelheid van een voorwerp als er geen resulterende kracht op werkt?
c Leg uit wat 'traagheid' is.

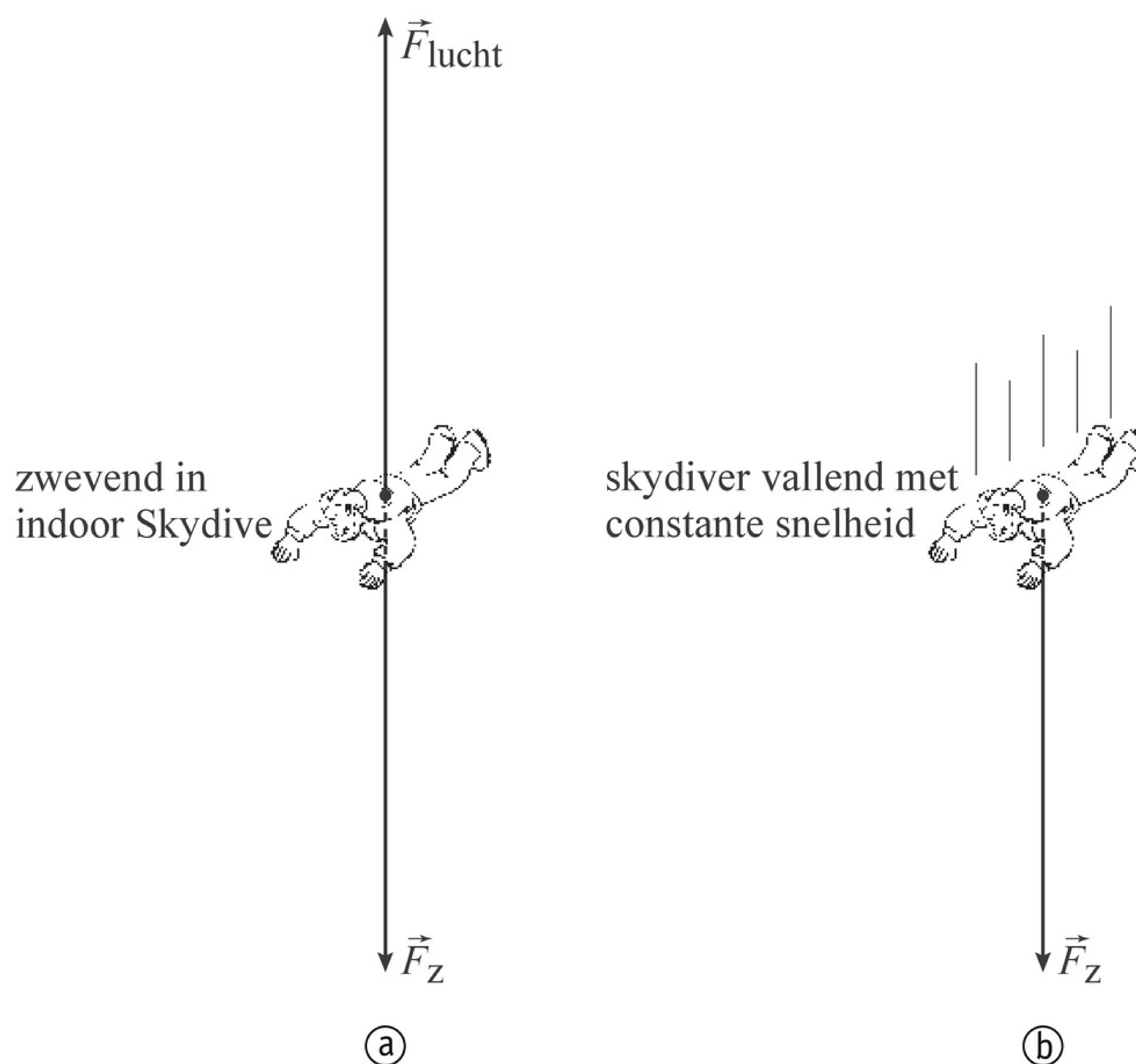
22 Fietsen
Bij het fietsen moet je voortdurend een kracht op de pedalen blijven uitoefenen om met constante snelheid te blijven bewegen.
Leg uit dat dit niet in tegenspraak is met de eerste wet van Newton.

23 Maan
De maan beweegt met (bijna) constante snelheid rondom de aarde.
Leg uit of er op de maan een kracht moet werken.

24 Trein
Over de vloer van een treincoupé rol je een bal dwars op de richting waarin de trein zich beweegt.
Geef met drie tekeningen (bovenaanzicht) weer hoe je de bal ziet bewegen als:
a de trein eenparig beweegt;
b de trein versnelt;
c de trein vertraagt.

25 Goederenwagon
Een zwaarbeladen goederenwagon rolt verder door dan een lege wagon.
Hoe kun je dat verklaren?

26 Windtunnel
De *indoor skydive* is een grote schacht waarin lucht met hoge snelheid verticaal omhoog wordt geblazen. Als je in deze windtunnel horizontaal op de luchtstroom gaat 'liggen', kun je blijven zweven. In figuur 30a zie je een persoon zweven in de skydive.
In figuur 30b is *dezelfde* persoon getekend die uit een vliegtuig is gesprongen en met constante snelheid verticaal naar beneden valt.



▲ **figuur 30** de krachten op een skydiver

Teken in figuur 30b de vector van de luchtweerstand voor deze situatie. Let daarbij op de richting en de lengte van de vector. Licht je tekening toe.
naar: examen 2013-I

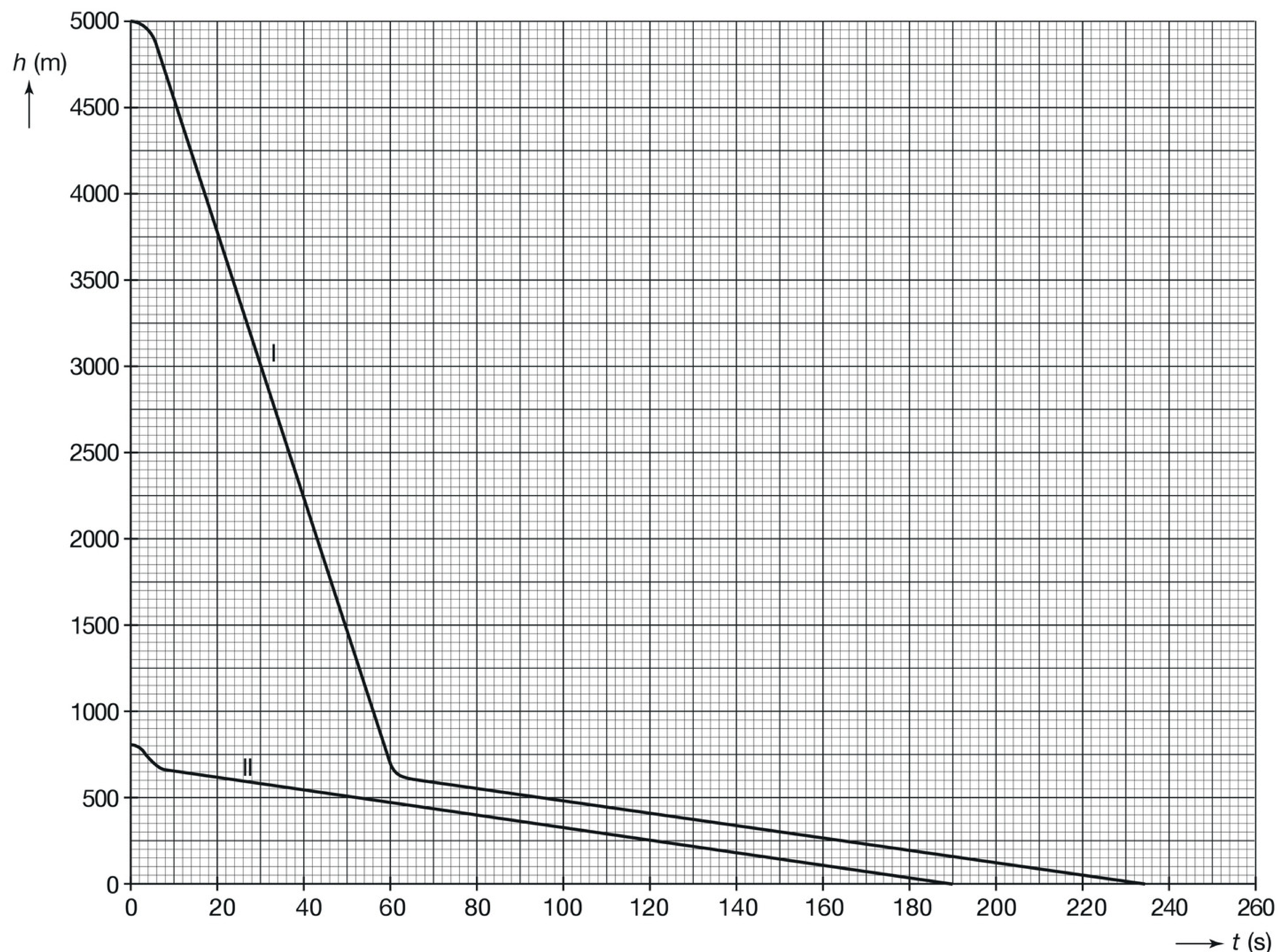
+27 Parachutesprong

Luuk en Sid willen weten hoe een parachutesprong verloopt. Ze vragen een ervaren parachutist om inlichtingen. Deze laat de (hoogte,tijd)-grafieken zien van twee van zijn sprongen. In het diagram van figuur 31 zijn beide (h,t)-grafieken weergegeven.
Eén sprong is vanaf 5000 m hoogte (sprong I) en één sprong vanaf 800 m (sprong II). Bij beide sprongen ging de parachute open op een hoogte van 700 m.
Uit figuur 31 blijkt dat je bij beide sprongen met dezelfde snelheid op de grond neerkomt.

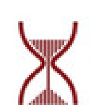
a Leg uit hoe je dit uit de grafieken kunt afleiden.

b Kijk naar de grafiek van de sprong vanaf 5000 m hoogte.
Leg uit of de wrijvingskracht op de parachutist (plus parachute) op een hoogte van 500 m groter dan, kleiner dan, of gelijk is aan de wrijvingskracht op 1500 m.

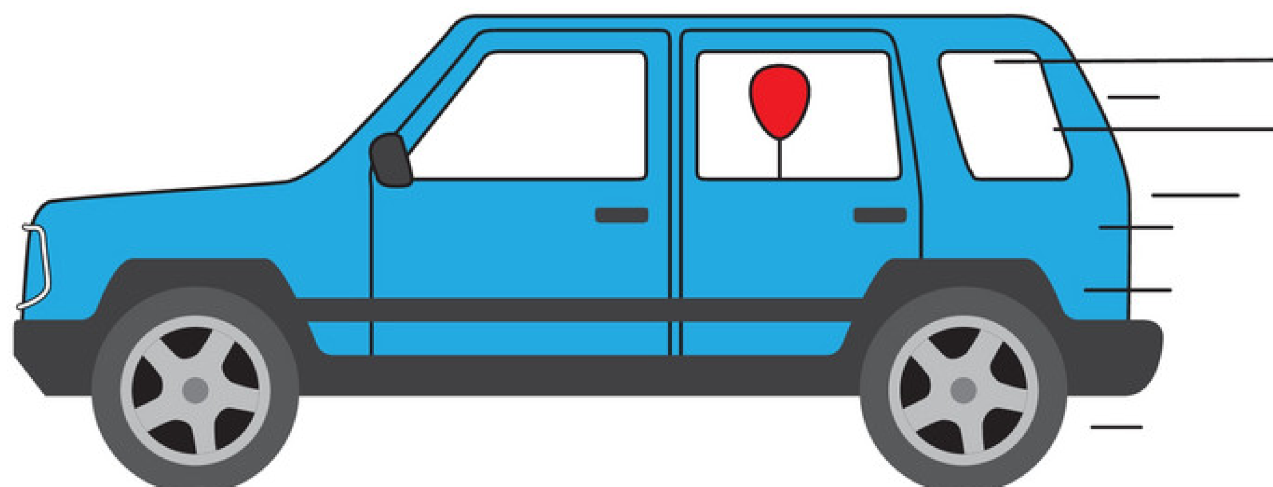
naar: examen vwo 2002-I



▲ **figuur 31** het (h,t)-diagram van twee parachutesprongen

 **+28** Traagheid

De auto in figuur 32 rijdt naar links. Midden in de auto hangt een heliumballon.
De bestuurder in de auto moet plotseling remmen.



▲ **figuur 32** een heliumballon in een auto

Leg uit in welke richting (de voorkant of achterkant van de auto) de ballon zal bewegen.

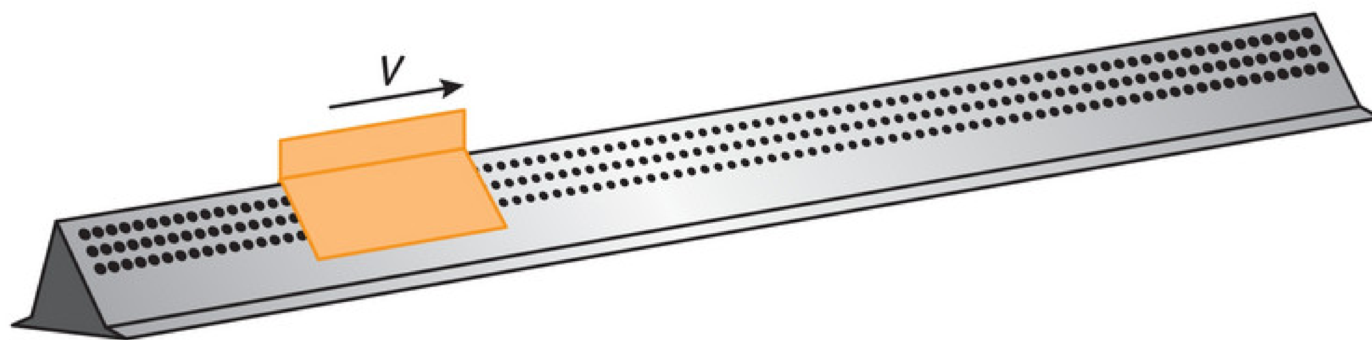
5 De tweede wet van Newton

In deze paragraaf leer je:
- de effecten van een resulterende kracht op de beweging van een voorwerp;
- de tweede wet van Newton.

De eerste wet van Newton zegt dat de snelheid van een voorwerp constant blijft als er geen resulterende kracht op dat voorwerp werkt. Maar wat gebeurt er als er wel een resulterende kracht op een voorwerp werkt?

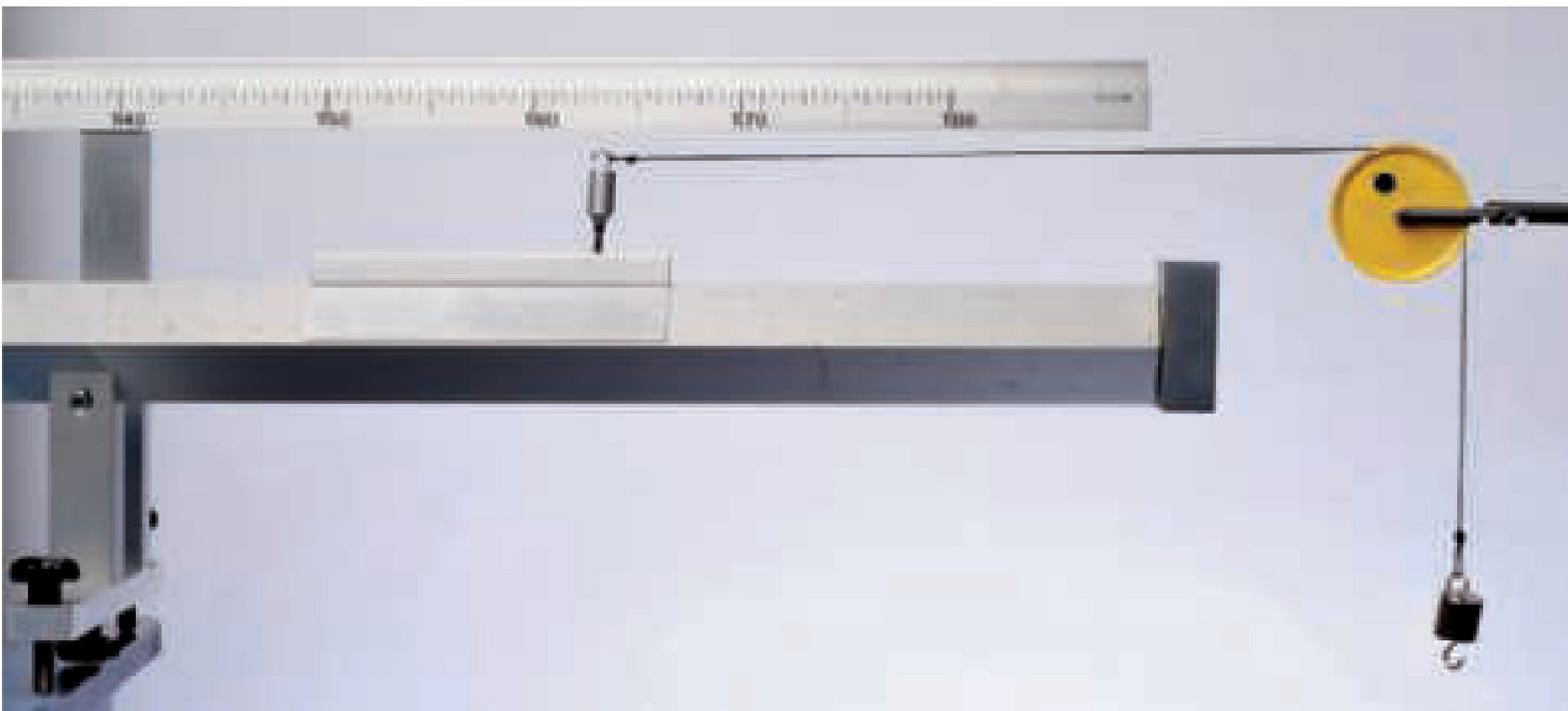
Luchtkussenbaan

Een luchtkussenbaan is een lange holle buis met veel kleine gaatjes waar lucht doorheen wordt geperst (figuur 33). De lucht ontsnapt door deze gaatjes. Op de buis rust een sleetje dat door de ontsnappende lucht iets wordt opgetild. Daardoor zweeft het sleetje boven de baan. Het voordeel daarvan is dat het sleetje vrijwel zonder wrijving over de baan kan bewegen.



▲ **figuur 33** Een luchtkussenbaan heeft veel kleine gaatjes.

Aan het sleetje is een touw vastgemaakt, waaraan een gewichtje is bevestigd (figuur 34). Het touw hangt over een katrol, zodat het gewichtje een kracht uitoefent op het sleetje.
Je kunt in deze situatie twee grootheden veranderen:
- de massa van het sleetje;
- de massa van het gewichtje dat de aandrijfkracht uitoefent.



▲ **figuur 34** een luchtkussenbaan met hanggewichtje

Als je deze proeven goed uitvoert, dan blijkt het volgende:
- Een (constante) resulterende kracht op het sleetje veroorzaakt een constante versnelling van dat sleetje.
- Als je de kracht op het sleetje 2× zo groot maakt, krijgt het sleetje een 2× zo grote versnelling. Dus de versnelling van het sleetje is recht evenredig met de resulterende kracht.
- Als je de massa van het sleetje verdubbelt, wordt de versnelling van dat sleetje, bij dezelfde kracht, 2× zo klein. Dus de versnelling van het sleetje is omgekeerd evenredig met de massa van het sleetje.

De tweede wet van Newton

Je kunt uit deze resultaten een formule afleiden. Deze formule geeft het verband aan tussen de resulterende kracht F_{res}, de massa m waarop deze kracht werkt, en de versnelling a die deze massa m daardoor krijgt:

$$F_{res} = m \cdot a$$

Hierin is:
- F_{res} de resulterende kracht in newton (N);
- m de massa in kilogram (kg);
- a de versnelling in meter per seconde kwadraat (m s^{-2}).

Deze formule heet de **tweede wet van Newton**.

Voorbeeldopgave 9

Op een stilstaand blokje van 50 g wordt gedurende 3,0 s een (horizontale) duwkracht van 6,0 N uitgeoefend. De (constante) wrijvingskracht op het blokje is 4,0 N.

a Bereken de versnelling van het blokje.
b Bereken de snelheid van het blokje op t = 3,0 s.

Uitwerking

a m = 50 g = 0,050 kg
F_{res} = 6,0 – 4,0 = 2,0 N

$$a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{2,0}{0,050} = 40 \text{ m s}^{-2}$$

b Uit $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt: $\Delta v = a \cdot \Delta t = 40 \times 3,0 = 1,2 \cdot 10^2$ m s^{-1}

Invullen van $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$ geeft: $1,2 \cdot 10^2 = v_{eind} - 0$
Dus geldt: $v_{eind} = 1,2 \cdot 10^2$ m s^{-1}

De resulterende kracht op een voorwerp wordt bij experimenteel onderzoek vaak bepaald door het (v,t)-diagram op te meten.

Voorbeeldopgave 10

In figuur 35 zie je een deel van het (v,t)-diagram van een formule 1-race van Max Verstappen. De massa van de raceauto inclusief bestuurder is 650 kg. Gedurende de eerste 20 s is de beweging eenparig versneld.

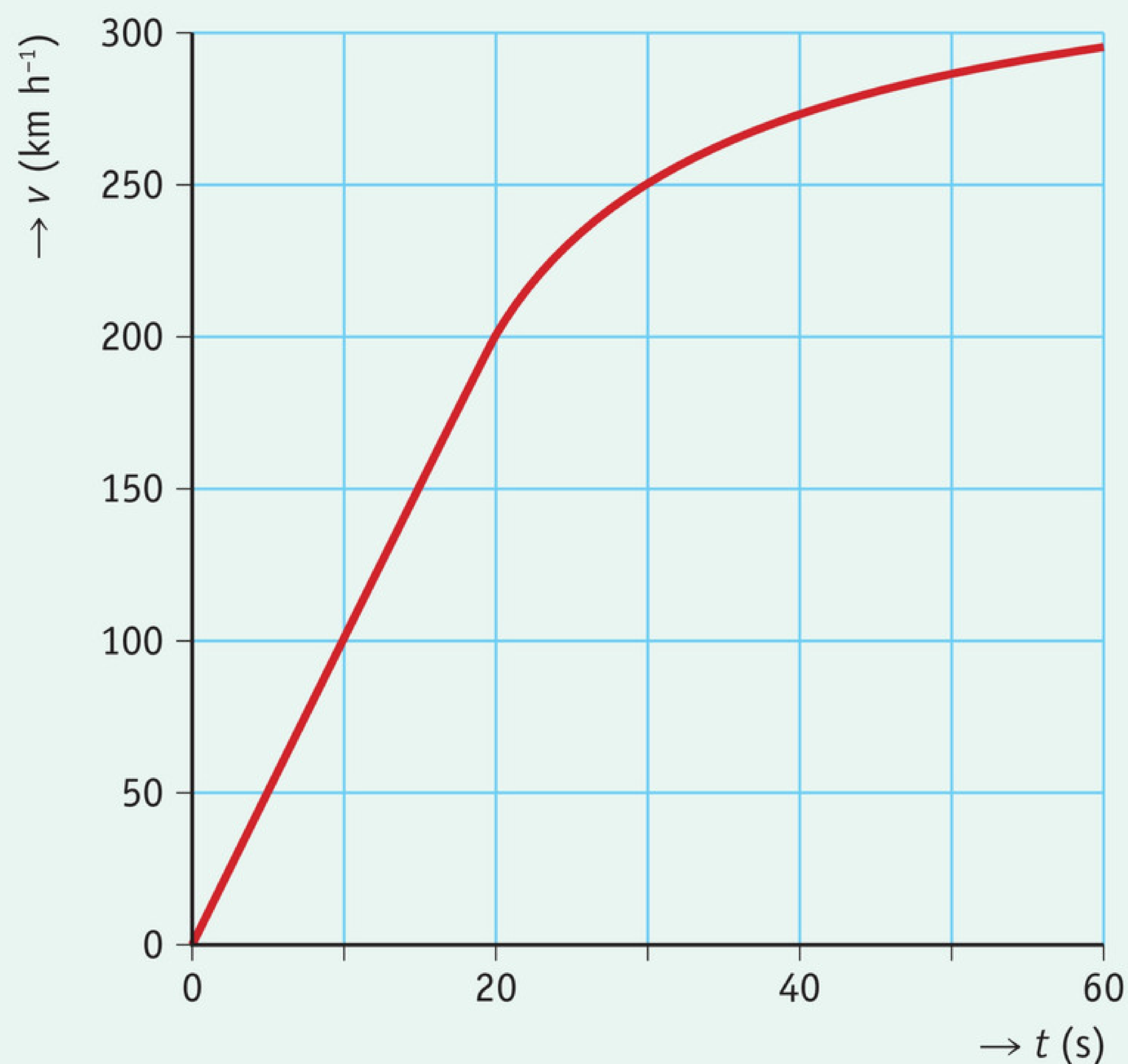
a Bepaal de resulterende kracht op de raceauto gedurende de eerste 20 s.
b Leg uit hoe uit de grafiek blijkt dat de resulterende kracht op de auto vanaf het tijdstip t = 20 s afneemt.

Uitwerking

a De versnelling a is de steilheid van het (v,t)-diagram. Er geldt $\Delta v = \frac{200}{3,6} = 55,6$ m s^{-1} en Δt = 20 s.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{55,6}{20} = 2,8 \text{ m s}^{-2}$$

De resulterende kracht op de auto bereken je met $F_{res} = m \cdot a$.
Hieruit volgt: $F_{res} = m \cdot a = 650 \times 2,78 = 1,8$ kN



▲ **figuur 35** het (v,t)-diagram van Max Verstappen

b Vanaf het tijdstip t = 20 s is de versnelling niet meer constant. De versnelling bepaal je dan met $a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$. De steilheid van deze raaklijn neemt vanaf t = 20 s voortdurend af.

De versnelling wordt dus kleiner. Uit de formule $F_{res} = m \cdot a$ volgt dan dat ook F_{res} kleiner wordt (de massa blijft immers vrijwel hetzelfde).

Versnellen en vertragen

De versnelling van een voorwerp heeft dezelfde richting als de richting van de resulterende kracht op dat voorwerp. Bij een rechtlijnige beweging kan dit twee dingen betekenen:

- De resulterende kracht op het voorwerp heeft dezelfde richting als de richting waarin dat voorwerp beweegt. Het voorwerp versnelt en krijgt een steeds grotere snelheid.
- De resulterende kracht op het voorwerp werkt tegengesteld aan de richting waarin dit voorwerp beweegt. Het voorwerp vertraagt en krijgt een steeds kleinere snelheid. In dit geval moet je in de formule $F_{res} = m \cdot a$ de grootheid F_{res} negatief invullen. Dit treedt vooral op bij remkrachten.

Voorbeeldopgave 11

Een fietser (met een massa van 80 kg inclusief fiets) rijdt met 5,0 m s^{-1}. Omdat het verkeerslicht op rood staat, remt de fietser af met een kracht van 40 N.

a Bereken de versnelling van de fietser.
b Bereken de remtijd van de fietser.

Uitwerking

a Er is sprake van een remkracht. Dat is een kracht die tegengesteld werkt aan de bewegingsrichting van de fietser. Dus geldt: F_{res} = –40 N.

$$a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-40}{80} = -0{,}50 \text{ m s}^{-2}$$

Je ziet aan de negatieve waarde van a dat het om een vertraging gaat.

b $\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 0 - 5{,}0 = -5{,}0\ \text{m s}^{-1}$

Uit $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt: $\Delta t = \dfrac{\Delta v}{a} = \dfrac{-5{,}0}{-0{,}50} = 10\ \text{s}$

De eerste wet van Newton zit verborgen in de tweede wet van Newton. Als er op een voorwerp geen resulterende kracht werkt, geldt: $F_{res} = 0$ N dus $0 = m \cdot a$.
Doordat de massa van een voorwerp natuurlijk niet nul kan zijn, klopt deze vergelijking alleen als de versnelling 0 m s^{-2} is. En dat betekent weer dat de snelheid van het voorwerp niet verandert. Dat was nou net de eerste wet van Newton: als de resulterende kracht op een voorwerp nul is, dan verandert de snelheid van dat voorwerp niet.

Ook de formule voor de zwaartekracht kun je afleiden uit de tweede wet van Newton. Als je een voorwerp in vacuüm laat vallen, voert het een vrije val uit (zie hoofdstuk 1, paragraaf 8). Dit voorwerp voert dan een eenparig versnelde beweging uit met de valversnelling g. De enige en dus resulterende kracht die op het voorwerp werkt, is de zwaartekracht F_z. Er geldt:
$F_{res} = F_z$
$a = g$

En dus gaat de tweede wet van Newton $F_{res} = m \cdot a$ dan over in: $F_z = m \cdot g$.

Onthoud!

- De tweede wet van Newton luidt: $F_{res} = m \cdot a$.
- Als de resulterende kracht tegengesteld gericht is aan de bewegingsrichting, moet je deze negatief invullen in de formule. Er ontstaat dan een negatieve versnelling, ofwel een vertraging.

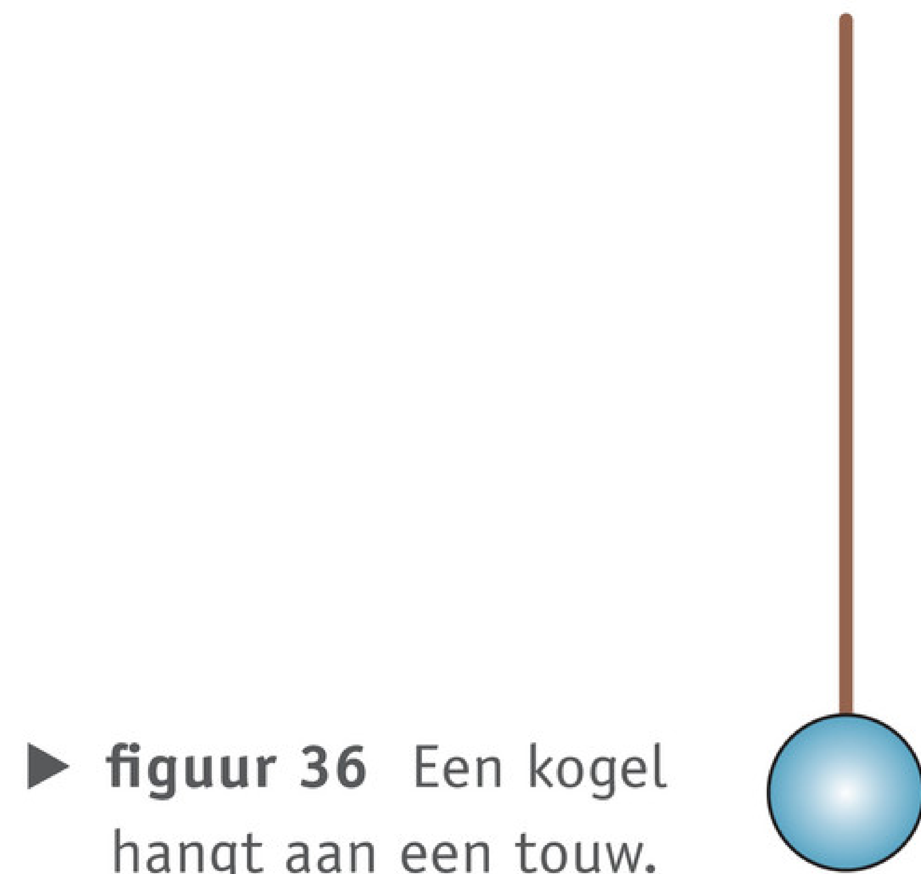
Opdrachten

29 De tweede wet van Newton
Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe luidt de tweede wet van Newton?
- **b** Noem de eenheden waarin de grootheden in de tweede wet van Newton moeten worden ingevuld.
- **c** Wat gebeurt er met de snelheid van een voorwerp als de resulterende kracht op dat voorwerp dezelfde richting heeft als de beginsnelheid?
- **d** Wat gebeurt er met de snelheid van een voorwerp als de resulterende kracht op dat voorwerp tegengesteld gericht is aan de beginsnelheid?
- **e** Leg uit hoe de eerste wet van Newton (de traagheidswet) uit de tweede wet van Newton volgt.
- **f** Geef de formule waarmee je de zwaartekracht op een voorwerp met massa m berekent.

30 Kracht en versnelling
Je duwt 15 s met een kracht van 25 N tegen een stilstaand voorwerp van 10 kg. Verwaarloos eventuele wrijvingskrachten op het voorwerp.
- **a** Bereken de versnelling van het voorwerp.
- **b** Bereken de snelheidsverandering van het voorwerp.
- **c** Bereken de snelheid van het voorwerp na 15 s.

31 Auto
Een automobilist trekt met gierende banden op. De resulterende kracht op de auto is dan $2{,}7 \cdot 10^3$ N. In 10 s bereikt hij een snelheid van 108 km h^{-1}.
a Bereken de versnelling van de auto.
b Bereken de massa van de auto (inclusief automobilist).
c De auto rijdt nog een tijdje door met een snelheid van 108 km h^{-1}.
Leg uit hoe groot de resulterende kracht op de auto nu is.

32 Kogel aan touw
Een kogel van 2,0 kg hangt aan een touw (figuur 36).



▶ **figuur 36** Een kogel hangt aan een touw.

a Bereken de zwaartekracht op de kogel.
b Bereken de spankracht in het touw als de kogel stilhangt.

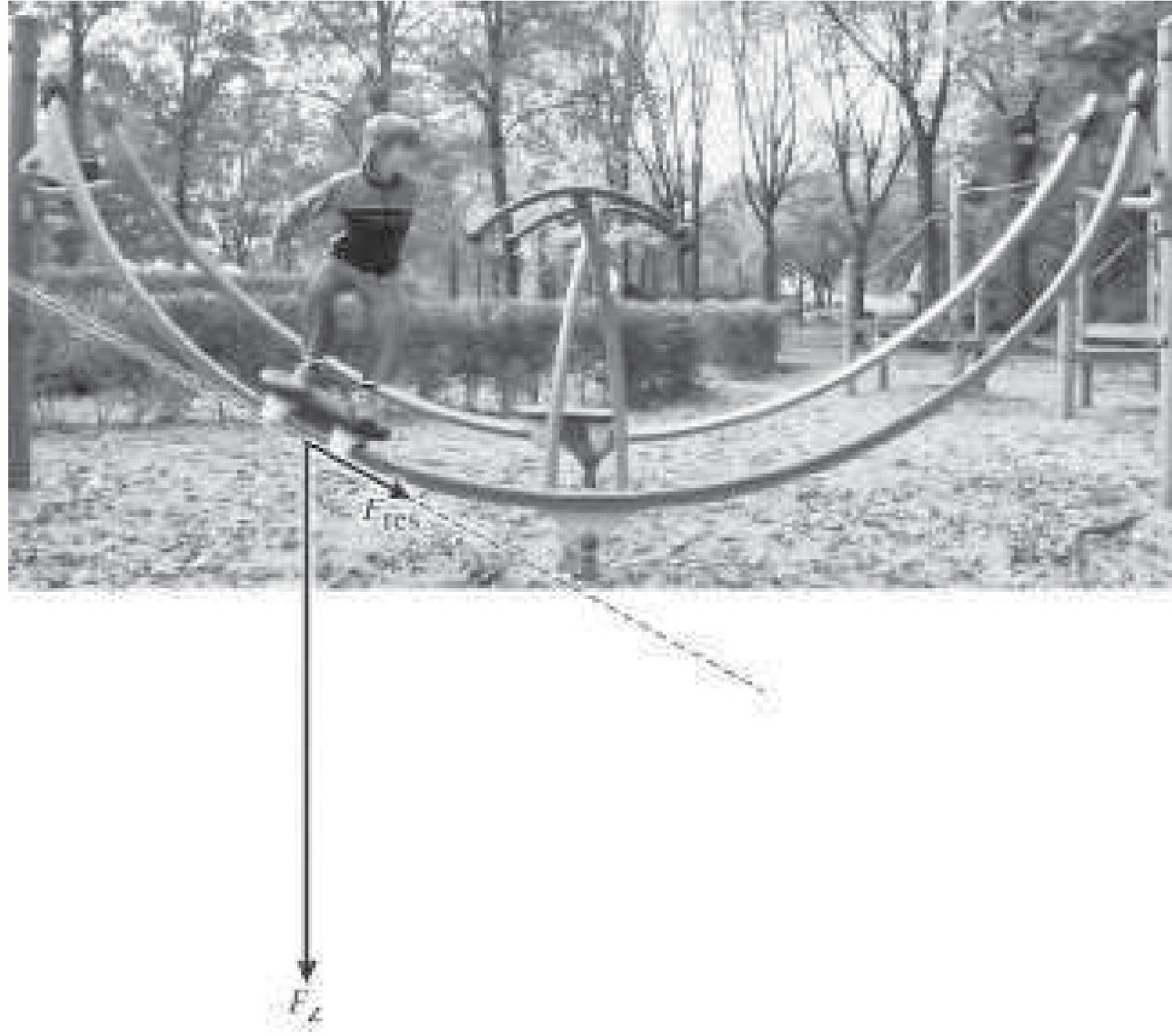
Bij de volgende vragen wordt de kogel aan het touw voortbewogen.
Bereken de spankracht in de volgende situaties.
c De kogel beweegt aan het touw omhoog met een snelheid van 3,0 m s^{-1}.
d De kogel beweegt aan het touw omlaag met een snelheid van 3,0 m s^{-1}.
e De kogel beweegt aan het touw omlaag met een versnelling van 3,0 m s^{-2}.
f De kogel beweegt aan het touw omhoog met een versnelling van 3,0 m s^{-2}.
g De kogel beweegt aan het touw omlaag met een vertraging van 3,0 m s^{-2}.

33 Wielrenner
Een wielrenner die een snelheid van 36 km h^{-1} heeft, remt plotseling af voor een stoplicht. De remkracht is 50 N. De massa van de wielrenner met fiets is 75 kg.
a Bereken de vertraging.
b Bereken hoelang het duurt voordat de wielrenner stilstaat.

34 Luchtkussenbaan
Het sleetje in figuur 34 heeft een massa van 200 g en wordt op de luchtkussenbaan versneld door een hangend gewichtje van 25 g.
a Bereken de versnelling van het sleetje.
b Bereken hoe groot de versnelling wordt als het sleetje en het hanggewichtje 2× zo zwaar worden gemaakt.

35 Skater
In figuur 37 zie je een skater die versneld omlaag beweegt. Hiervoor is een resulterende kracht in voorwaartse richting nodig. In de foto is deze kracht samen met de zwaartekracht op schaal weergegeven. De totale massa van de skater en het skateboard is 31 kg.

De vectorpijl voor F_z is 3,8 cm, de vectorpijl voor F_{res} is 0,8 cm en de hoek tussen F_z en F_{res} is 61°.



▲ **figuur 37** het krachtendiagram van de skater

a Construeer in figuur 37 de component van de zwaartekracht langs de railbaan.
b Bepaal de grootte van de wrijvingskracht langs de railbaan op het moment van de foto.
c Bepaal de versnelling van de skater op het moment van de foto.

naar: pilotexamen 2013-II

36 Eenheden
De eenheid van kracht is de newton. In deze opdracht ga je de newton uitdrukken in SI-grondeenheden.
a Wat is de SI-eenheid van massa?
b Wat is de SI-eenheid van versnelling?
c Leid met behulp van de formule $F_{res} = m \cdot a$ af hoe de eenheid newton kan worden uitgedrukt in SI-grondeenheden.

37 Veiligheid
Een autofabrikant heeft ooit een promotiefilmpje gemaakt om de veiligheid van een bepaald model auto aan te tonen. Daarbij viel de auto 15 m verticaal recht omlaag. De foto's in figuur 38 tonen drie screenshots uit het filmpje.



▲ **figuur 38** een vallende auto

In de middelste foto werken de normaalkracht F_N en de zwaartekracht F_z op de auto.
Is in deze foto $F_N < F_z$, $F_N = F_z$, of is $F_N > F_z$? Licht je antwoord toe.

naar: pilotexamen 2014-II

38 Astronaut
Astronaut Young landde in 1972 met de *Apollo 16* op de maan. Daar maakte hij op een gegeven moment een sprong recht omhoog. De massa van Young was inclusief bepakking 120 kg. Tijdens het afzetten was zijn versnelling 3,3 m s^{-2}.
Bereken de grootte van de kracht die hij tijdens het afzetten op het maanoppervlak uitoefende. Houd daarbij rekening met de zwaartekracht van de maan.
naar: pilotexamen 2012-I

39 Modelleren
In figuur 39 zie je een model voor een vallende parachutist. De constante *k* (regel 7 bij de startwaarden) bepaalt hoe groot de luchtwrijvingskracht is.

modelregels	startwaarden en constanten
1 t := t + dt	1 dt := 0.05 ‘s
2 Fz := m*g	2 t := 0 ‘s
3 Fwl := k*v^2	3 y := 1000 ‘m (hoogte boven de grond)
4 Fres : = ...	4 v := 0 ‘m/s
5 a := Fres/m	5 g := 9.81 ‘m/s^2
6 v := v + a*dt	6 m := 95 ‘kg
7 y := y – v*dt	7 k := 0.52 ‘kg/m (wrijvingsconstante)

▲ **figuur 39** het model van een parachutist

a Noem twee factoren waarvan de constante *k* afhangt.
b Modelregel 4 is nog niet helemaal ingevuld. Geef de volledige modelregel.
c In het model is nog geen stopconditie (als … dan … stop) opgenomen.
Geef de modelvergelijking die moet worden toegevoegd om het model te laten stoppen als de parachutist de grond raakt.

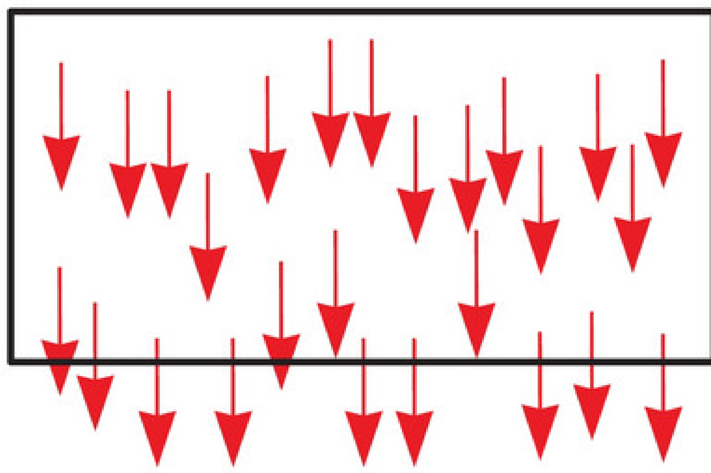
6 De hefboomwet

In deze paragraaf leer je:
- wat het zwaartepunt, een werklijn, het draaipunt en de arm van een kracht is;
- wanneer een voorwerp in evenwicht is;
- de hefboomwet toepassen.

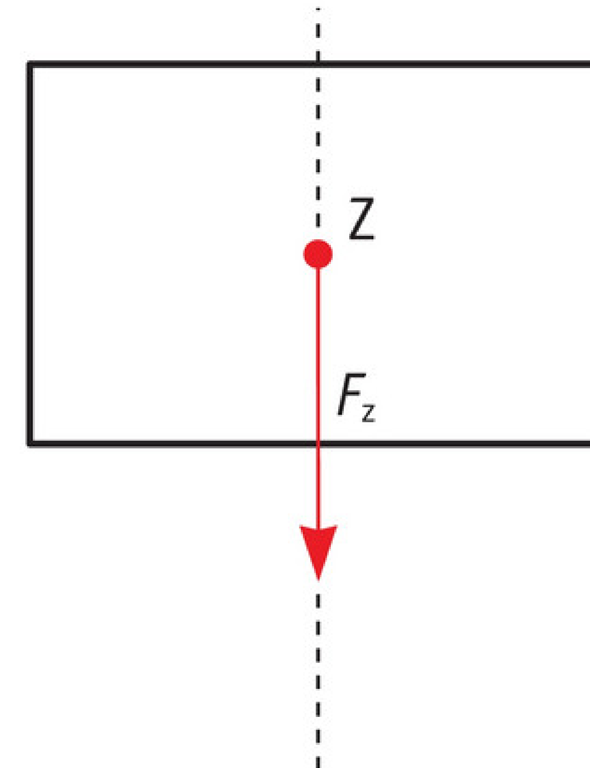
Op elk voorwerp werkt zwaartekracht. De zwaartekracht werkt dus op alle moleculen van een voorwerp. Als je de zwaartekracht op een blokje wilt tekenen, kun je dat doen zoals in figuur 40. Je zou eigenlijk nog veel meer pijltjes moeten tekenen, want het blokje bestaat uit enorm veel moleculen.

Het zwaartepunt

Gemakkelijker dan het tekenen van al die pijltjes is het om de totale zwaartekracht F_z in één punt te laten aangrijpen. Dat punt is het **zwaartepunt Z** (figuur 41). Het zwaartepunt Z is een denkbeldig punt van het voorwerp waar de zwaartekracht aangrijpt.



▲ **figuur 40** schematische weergave van de zwaartekracht op de moleculen van een blokje



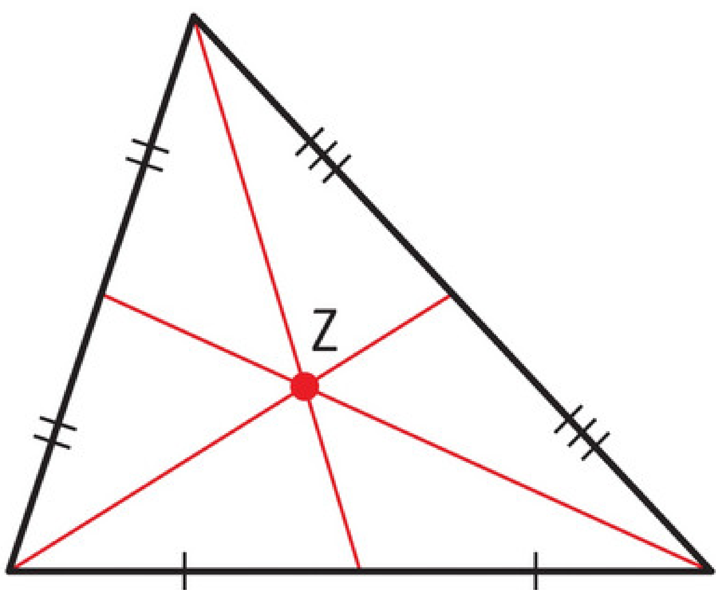
▲ **figuur 41** het zwaartepunt Z van een blokje

Elk voorwerp heeft een zwaartepunt. Je kunt het zwaartepunt van voorwerpen als volgt bepalen:

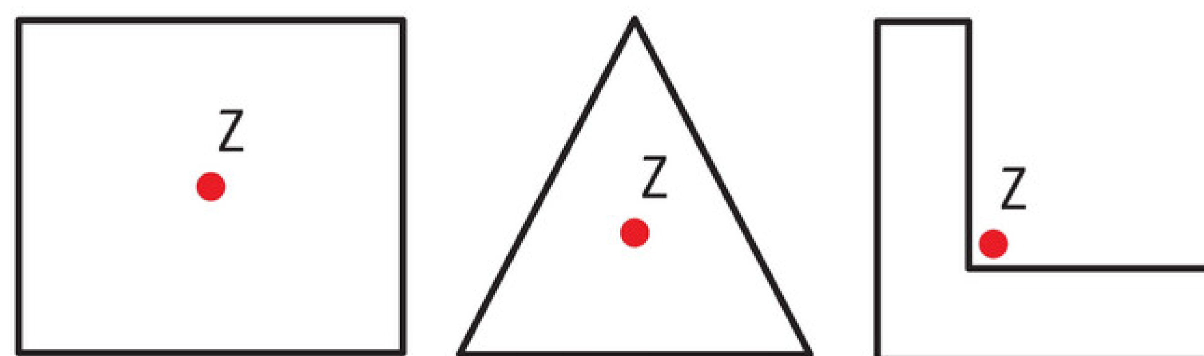
- Hang het voorwerp aan één punt op en teken vanuit het ophangpunt een lijn recht omlaag.
- Hang het voorwerp vervolgens op aan andere punten en teken steeds een lijn recht omlaag. Al die lijnen snijden elkaar in één punt. Dat is het zwaartepunt van het voorwerp.

Zwaartepunt bij verschillende voorwerpen

Het zwaartepunt van een aantal voorwerpen is aangegeven in figuur 42 en 43. Zoals je in figuur 43 ziet (bij de winkelhaak) kan het zwaartepunt ook in een gebied liggen waar geen massa is.



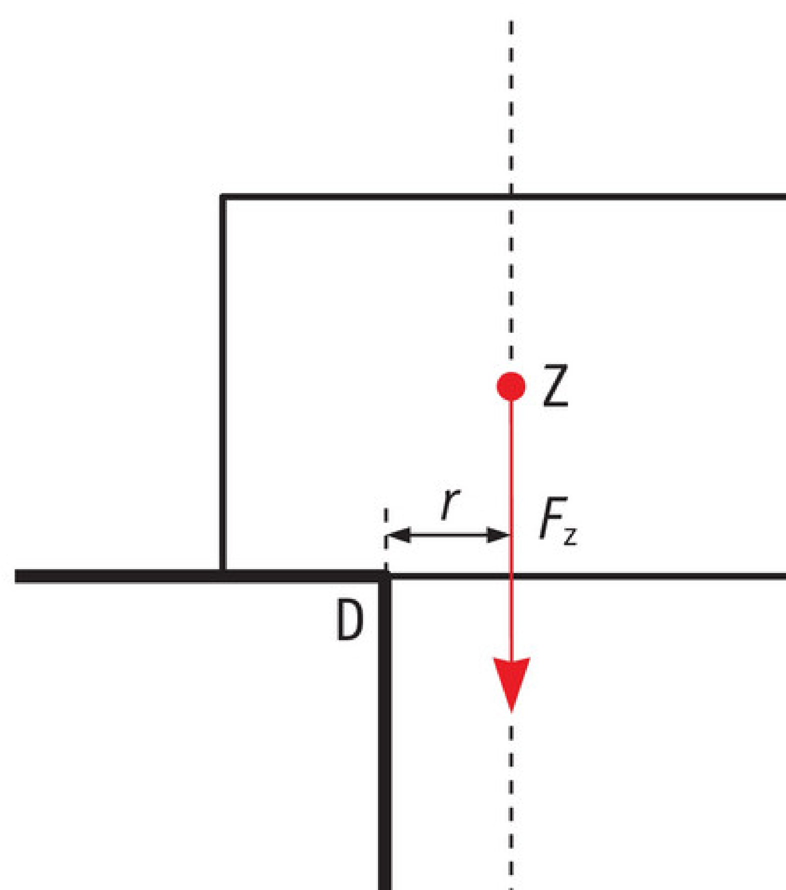
▲ **figuur 42** het zwaartepunt Z van een driehoek



▲ **figuur 43** drie voorwerpen met hun zwaartepunt

Werklijn, draaipunt en arm

De denkbeldige rechte lijn waarop een krachtenpijl ligt, heet de **werklijn** van de kracht. In figuur 44 is de werklijn van de zwaartekracht met een stippellijn aangegeven.
Het voorwerp in figuur 44 blijft niet in rust: het gaat draaien. Een voorwerp dat kan draaien, heeft een **draaipunt** (of scharnierpunt). In figuur 44 is het draaipunt van het voorwerp aangegeven met de letter D.

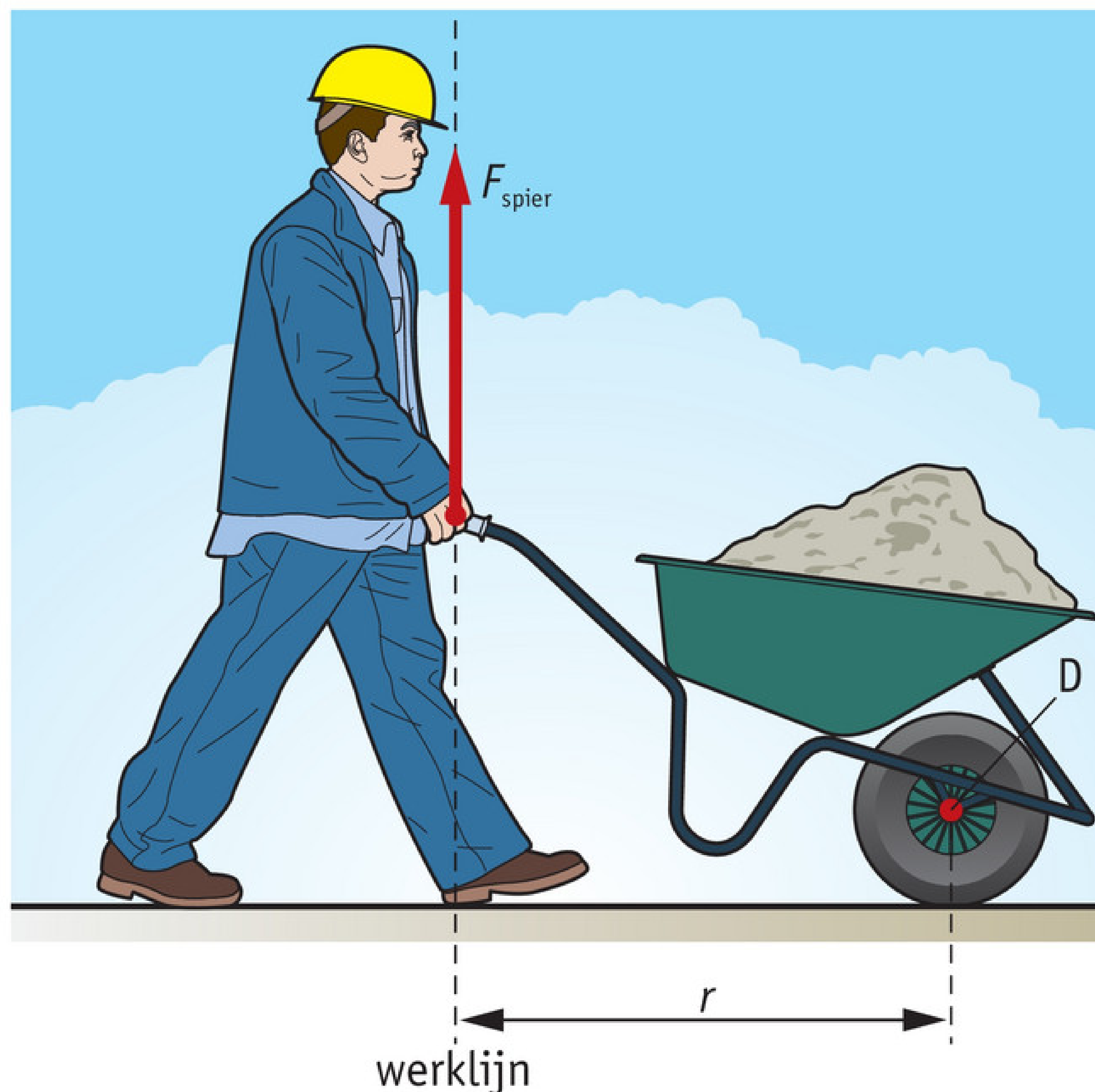


▲ **figuur 44** Het voorwerp draait om draaipunt D.

Omdat de werklijn van de zwaartekracht niet boven het steunvlak ligt, laat de zwaartekracht het blok kantelen (draaien). Het (draai-)effect hangt dan af van twee factoren:

- de grootte van de kracht *F* (in dit geval F_z);
- de kortste afstand *r* van de werklijn van die kracht tot het draaipunt (de 'arm' van de kracht).

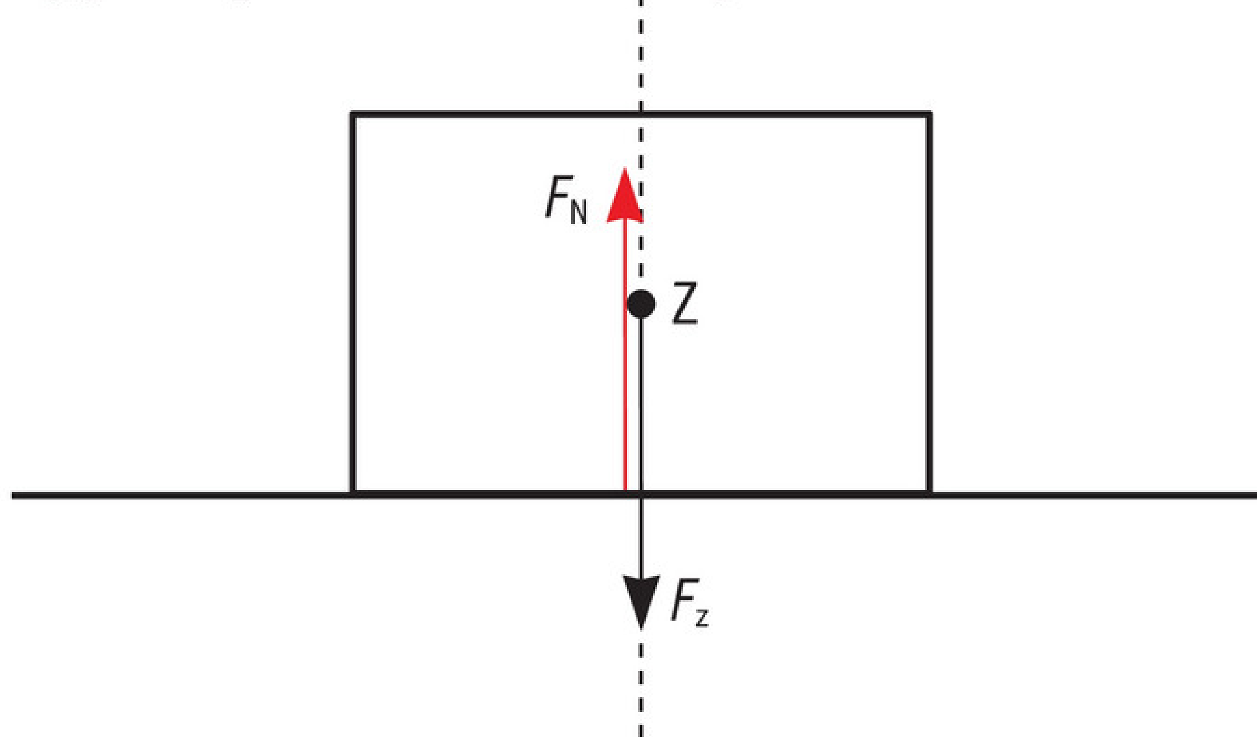
De **arm *r*** van de kracht is altijd de kortste verbindingslijn van het draaipunt tot de werklijn van de kracht. Dit is de loodlijn (figuur 45).



▲ **figuur 45** De arm *r* is de loodlijn op de werklijn van de kracht.

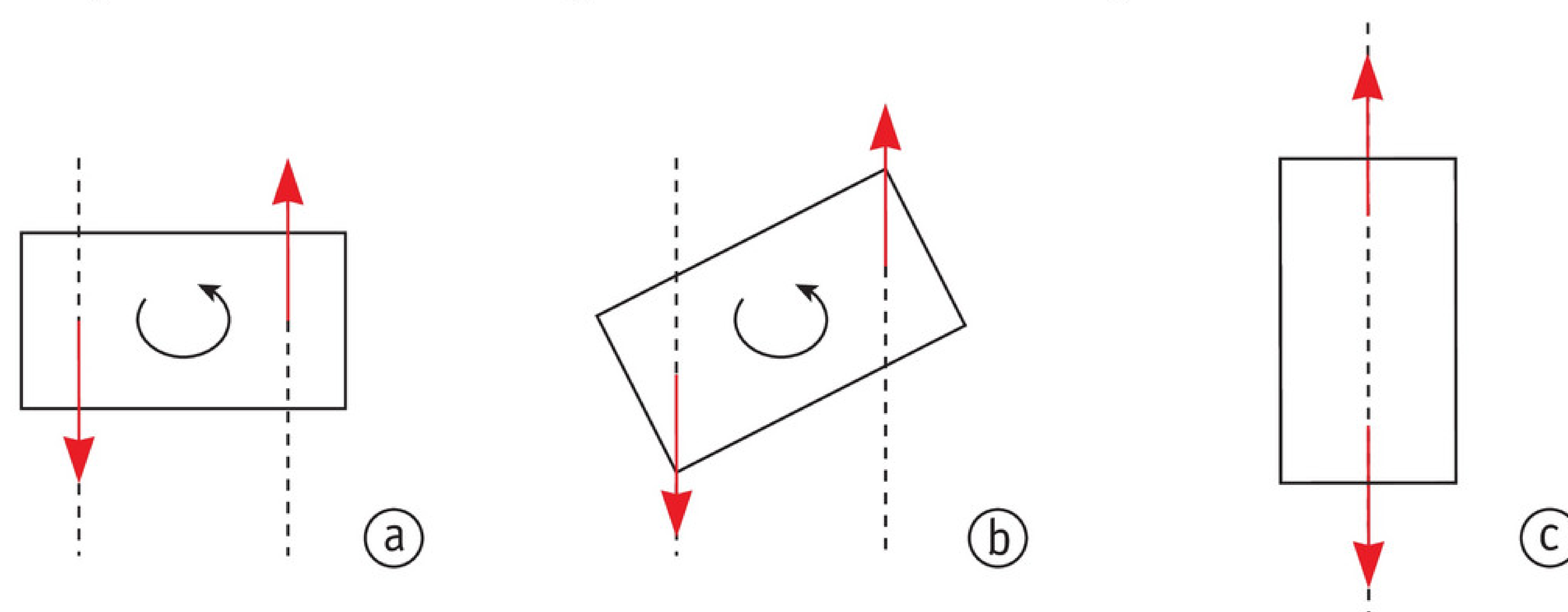
Evenwicht

Op het voorwerp in figuur 46 werken twee even grote tegengestelde krachten. Beide krachten liggen op dezelfde werklijn en heffen elkaar op.



▲ **figuur 46** Twee krachten heffen elkaar op.

In figuur 47a zie je een voorwerp waarop ook twee even grote tegengestelde krachten werken. De werklijnen van deze krachten vallen niet samen. Dit voorwerp zal gaan draaien totdat de werklijnen van beide krachten samenvallen (figuur 47b en 47c). In figuur 47c stopt het voorwerp met draaien. Je zegt dan dat het voorwerp in **evenwicht** is.



▲ **figuur 47** Twee tegengestelde krachten laten het voorwerp draaien tot de werklijnen samenvallen.

De hefboomwet

Toen je klein was, heb je vast weleens met iemand samen op een wip gezeten en geprobeerd deze in evenwicht te houden. Misschien kreeg je toen al door dat er evenwicht ontstaat als het zwaarste kind dichter bij het midden van de wip gaat zitten dan het lichtste kind. Eigenlijk maak je dan gebruik van de **hefboomwet** die aangeeft wanneer een hefboom in evenwicht is. Een **hefboom** is een voorwerp waarop krachten kunnen worden uitgeoefend en dat om een as (draaipunt) kan draaien. Voorbeelden van hefbomen zijn werktuigen als een schaar, een koevoet en een katrol.
De hefboomwet luidt als volgt: een hefboom is in evenwicht als $(F \cdot r)_{\text{linksom}} = (F \cdot r)_{\text{rechtsom}}$
Dit kun je ook schrijven als:

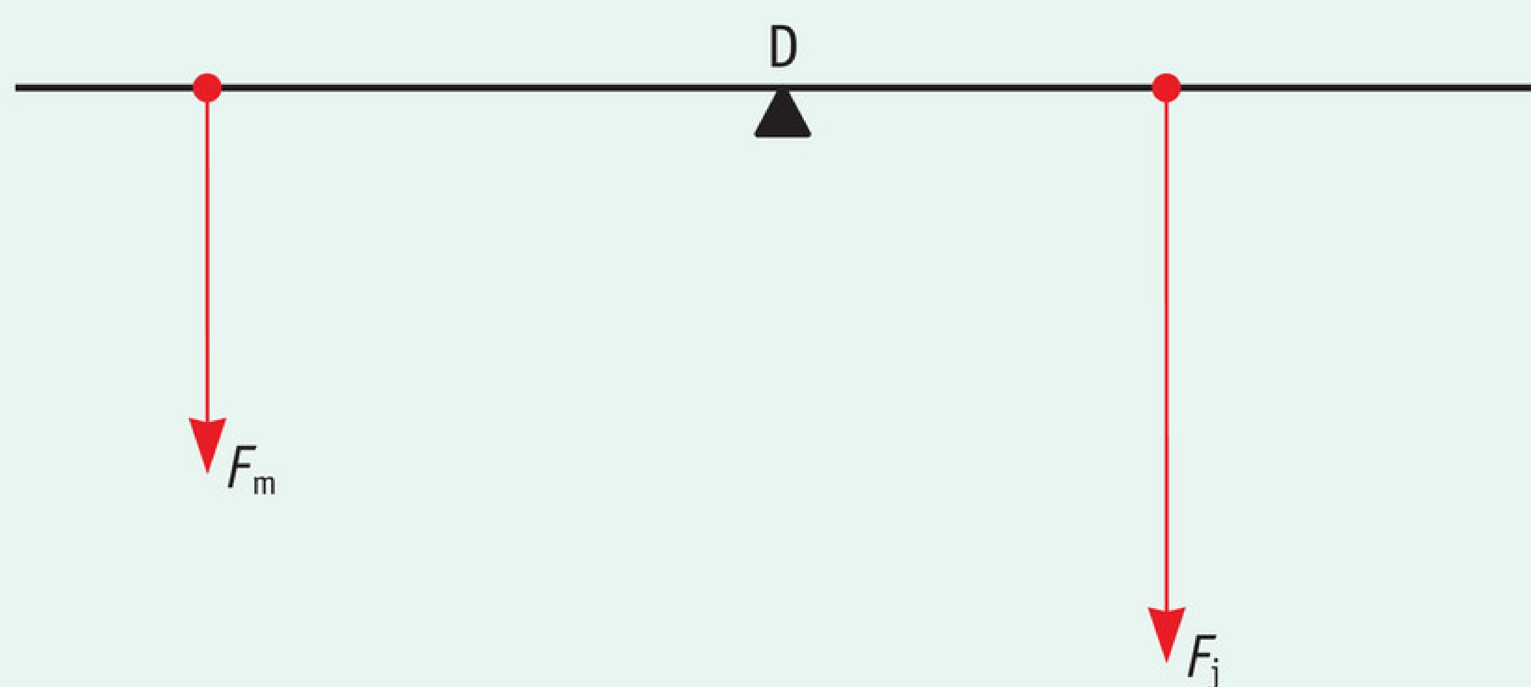
$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

Hierin zijn:
- F_1 en F_2 de krachten (buiten het draaipunt) op de hefboom in newton (N);
- r_1 en r_2 de bijbehorende armen in meter (m).

In plaats van meter mag je ook een andere eenheid (bijvoorbeeld centimeter of millimeter) voor de arm in de formule gebruiken, als je links en rechts van het =-teken maar dezelfde eenheid gebruikt.
Het product $F \cdot r$ wordt ook wel het **moment *M*** van de kracht genoemd. Een moment druk je uit in de eenheid newtonmeter (Nm). Hoe groter het moment, hoe groter het draai-effect van de kracht. Je kunt de hefboomwet dus ook als volgt formuleren: $M_{\text{linksom}} = M_{\text{rechtsom}}$

Voorbeeldopgave 12

Op de balk van een wip zit op 3,0 m links van het draaipunt een meisje, rechts zit een jongen. Het meisje oefent een kracht van 400 N uit op de wip, de jongen een kracht van 600 N (figuur 48).



▲ **figuur 48** voorstelling van een wip in evenwicht

Bereken op welke afstand van het draaipunt de jongen moet zitten om de wip in evenwicht te houden.

Uitwerking
Noem de kracht die de jongen op de wip uitoefent F_j en de kracht die het meisje uitoefent F_m.
Noem de armen van beide krachten r_j en r_m.
Dan geldt:
$F_m \cdot r_m = F_j \cdot r_j$
$400 \times 3{,}0 = 600 \cdot r_j$

$$r_j = \frac{400 \times 3{,}0}{600} = 2{,}0 \text{ m}$$

De jongen moet dus op 2,0 m van het draaipunt zitten.

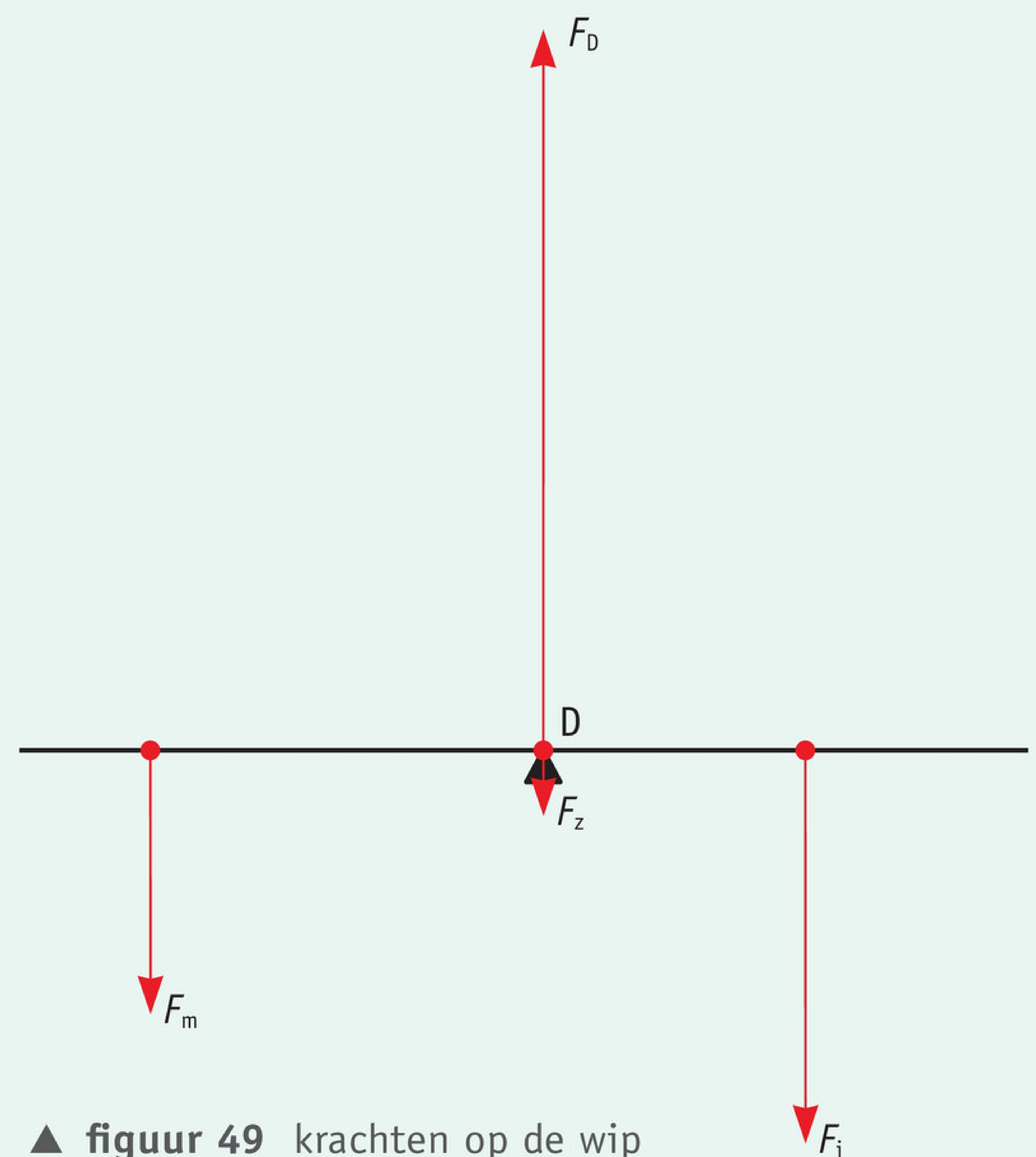
Opmerking: op de balk zelf werkt ook nog een kracht: de zwaartekracht. Deze grijpt aan in het zwaartepunt (het midden van de wip). De werklijn van deze kracht loopt door het draaipunt, dus is de arm van de zwaartekracht nul. De zwaartekracht op de balk levert geen bijdrage aan de draaiing (want het moment van de zwaartekracht is $F \cdot r = F \cdot 0 = 0$ Nm).
Bij het toepassen van de hefboomwet hoef je in dit geval dus geen rekening te houden met deze kracht.

Je kunt de hefboomwet dus gebruiken om een onbekende kracht uit te rekenen als de hefboom in evenwicht is. Maar er werken nog meer krachten op een hefboom. Voor een hefboom in evenwicht geldt niet alleen $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$. De hefboom als geheel beweegt ook niet omhoog of omlaag, dus geldt ook dat de resulterende kracht nul is: $F_{res} = 0$ N. Dit laatste gebruik je meestal om de kracht uit te rekenen die in het draaipunt op de hefboom werkt. Dit wordt duidelijk aan de hand van voorbeeldopgave 13.

Voorbeeldopgave 13

De massa van de balk van de wip in voorbeeldopgave 12 waarop de jongen en het meisje zitten, is 10 kg.
Bereken de kracht die de balk van de wip in het draaipunt ondervindt.

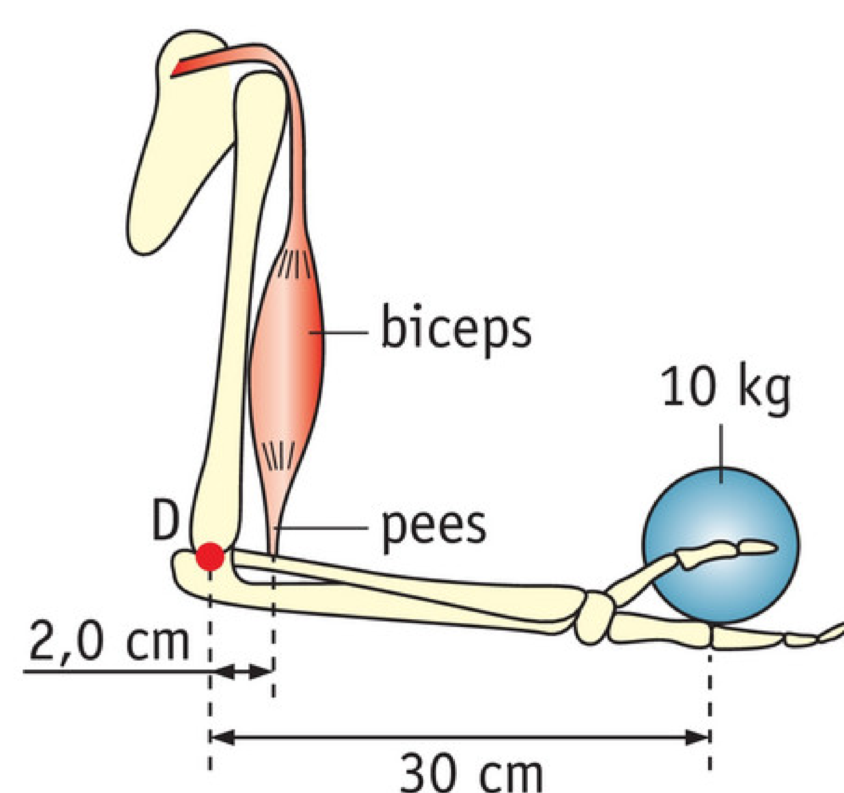
Uitwerking
Op de balk van de wip werkt de zwaartekracht: $F_z = m \cdot g = 10 \times 9{,}81 = 98$ N.
Er werken dus drie krachten op de wip omlaag: F_m, F_j en de zwaartekracht F_z op de wip.
De wip als geheel beweegt niet, dus moet de resulterende kracht op de wip nul zijn. Dan moet er op de wip dus een kracht omhoog werken die even groot is als de drie krachten omlaag samen. Dat is de kracht F_D die de wip in het draaipunt ondervindt:
$F_D = F_m + F_j + F_z = 400 + 600 + 98 = 1098$ N
In figuur 49 zijn deze vier krachten getekend.



▲ **figuur 49** krachten op de wip

Het menselijk lichaam als hefboom

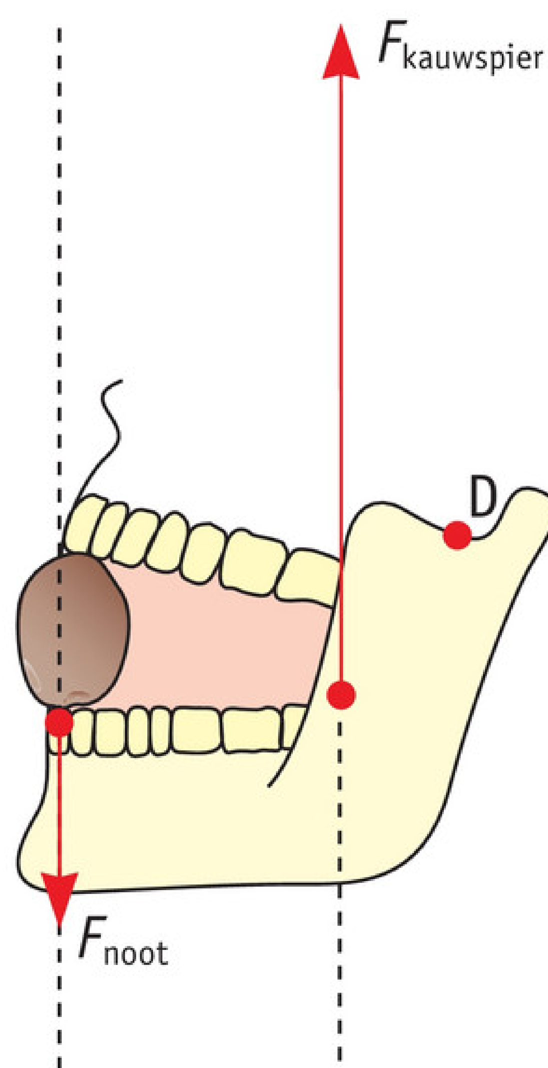
Er zijn heel wat lichaamsdelen die als hefboom functioneren, bijvoorbeeld je knie en je onderarm. Stel dat je een metalen kogel op je hand laat rusten. Je houdt de hand en de onderarm horizontaal (figuur 50).



◀ **figuur 50** de onderarm als hefboom

De onderarm is een hefboom die in evenwicht is. Het draaipunt ligt helemaal links, bij de elleboog. De kracht die de kogel op de onderarm uitoefent, laat deze rechtsom draaien. Dus moet de biceps (spier) een kracht op de onderarm uitoefenen die deze onderarm linksom laat draaien. De kracht die de biceps moet leveren, is groot, omdat de arm van de kracht van de biceps klein is.

Als je op een noot bijt, oefent de noot een kracht omlaag uit op je onderkaak. Deze kracht laat de onderkaak linksom draaien. De kauwspier moet een kracht omhoog uitoefenen op de onderkaak die de kaak rechtsom laat draaien (figuur 51). Andere voorbeelden van hefbomen in het menselijk lichaam zijn je onderbeen, je hand en je voet.



▲ **figuur 51** de kaak als hefboom

Voorbeeldopgave 14

Maaike bijt op een noot met een kracht van 24 N. In figuur 51 is de situatie schematisch weergegeven. De tekening is op schaal.
Bepaal met behulp van de hefboomwet de kracht die de kauwspier uitoefent.

Uitwerking
De tekening is op schaal. De verhouding van de armen in de tekening komt dan overeen met de verhouding van de armen in werkelijkheid. Dit betekent dat je in plaats van de werkelijke armen, de grootte van de (opgemeten) armen in de tekening mag invullen in de hefboomwet. De uitkomst blijft hetzelfde.
Er geldt:
r_{noot} = 21 mm (opgemeten)
$r_{kauwspier}$ = 6,0 mm (opgemeten)
$F_{noot} \cdot r_{noot} = F_{kauwspier} \cdot r_{kauwspier}$
$24 \times 21 = F_{kauwspier} \cdot 6{,}0$
Hieruit volgt:
$F_{kauwspier} = 84$ N

▶ **EXPERIMENT 3** Evenwicht

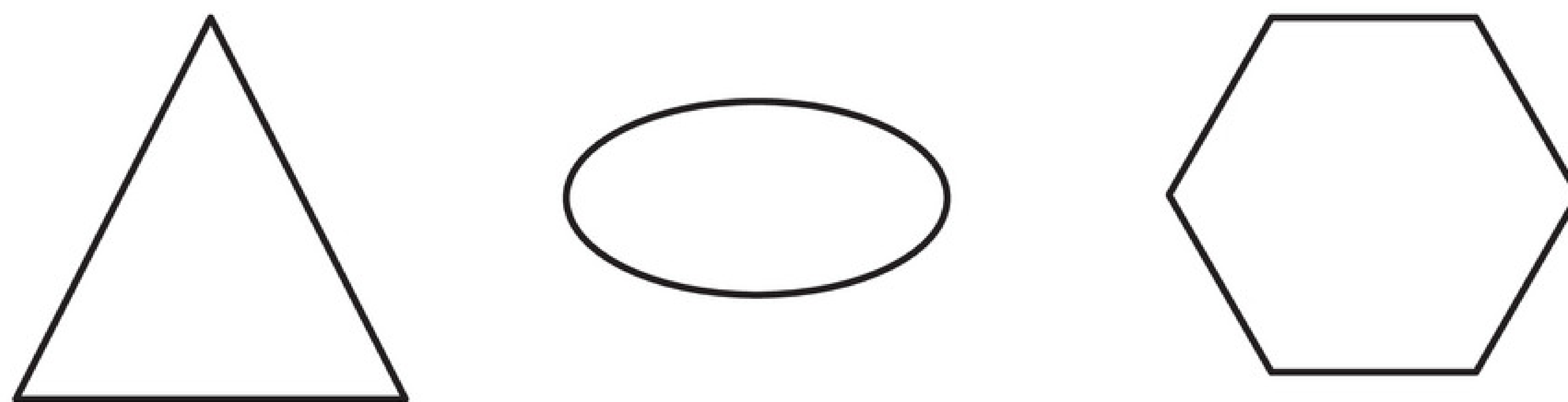
Onthoud!

- Het zwaartepunt Z is een denkbeeldig punt van het voorwerp waar de zwaartekracht aangrijpt.
- De werklijn van een kracht is de (denkbeeldige) lijn waarop een krachtenpijl ligt.
- De arm *r* van een kracht is de kortste afstand tussen het draaipunt en de werklijn van die kracht. Je vindt die afstand met behulp van de loodlijn.
- Een hefboom is een voorwerp waarop krachten kunnen worden uitgeoefend en dat om een as kan draaien.
- Een voorwerp is in evenwicht als geldt: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$

Opdrachten

40 Hefboomwet
Maak de volgende opdrachten.
a Leg de begrippen ‘arm’, ‘werklijn’ en ‘zwaartepunt’ uit.
b Leg de hefboomwet uit.
c Geef de formule van de hefboomwet.

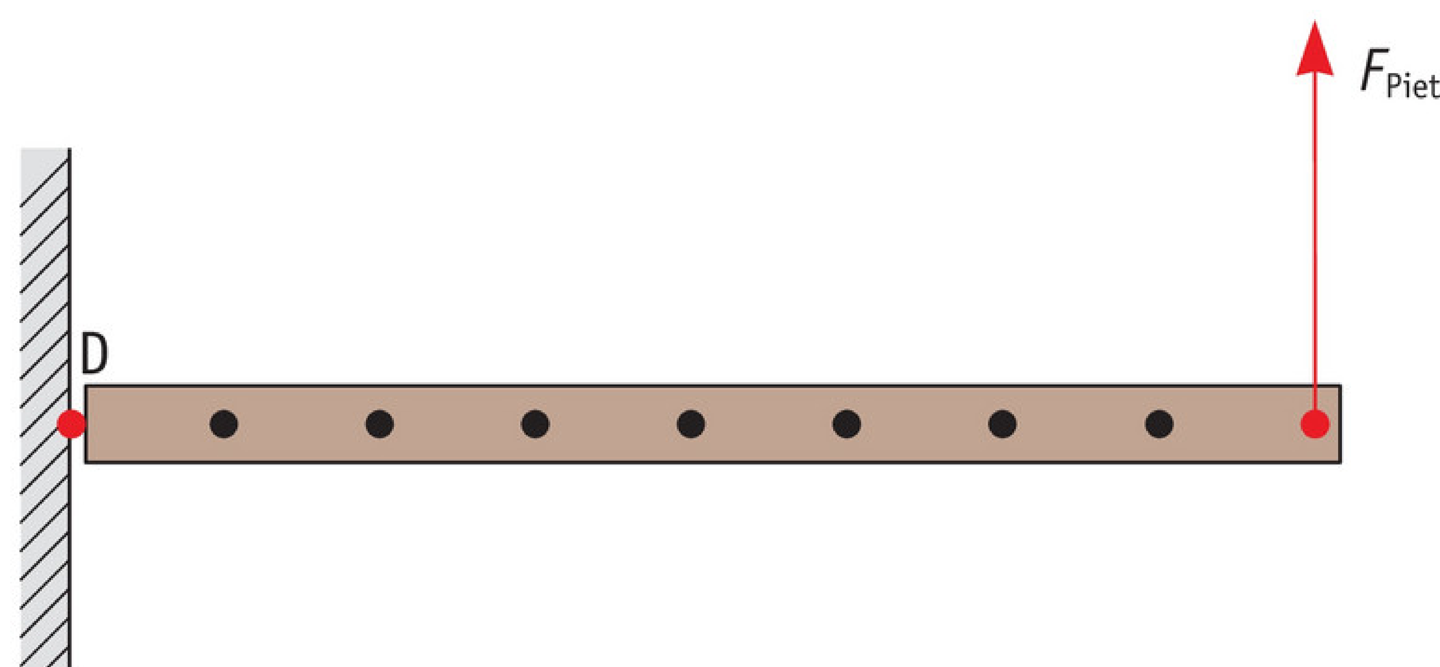
41 Zwaartepunt
In figuur 52 zijn drie voorwerpen schematisch weergegeven.
Geef in elk voorwerp met een punt de plaats van het zwaartepunt aan.



▲ **figuur 52** drie voorwerpen

42 Onderarm
Toon met de gegevens in figuur 50 aan dat de kracht die de biceps moet leveren, gelijk is aan $1{,}5 \cdot 10^3$ N.

43 Draaipunt
Een plank is, draaibaar in punt D, aan een muur bevestigd (figuur 53). Piet houdt de plank in evenwicht. De grootte van de zwaartekracht op de plank is 6,0 N.

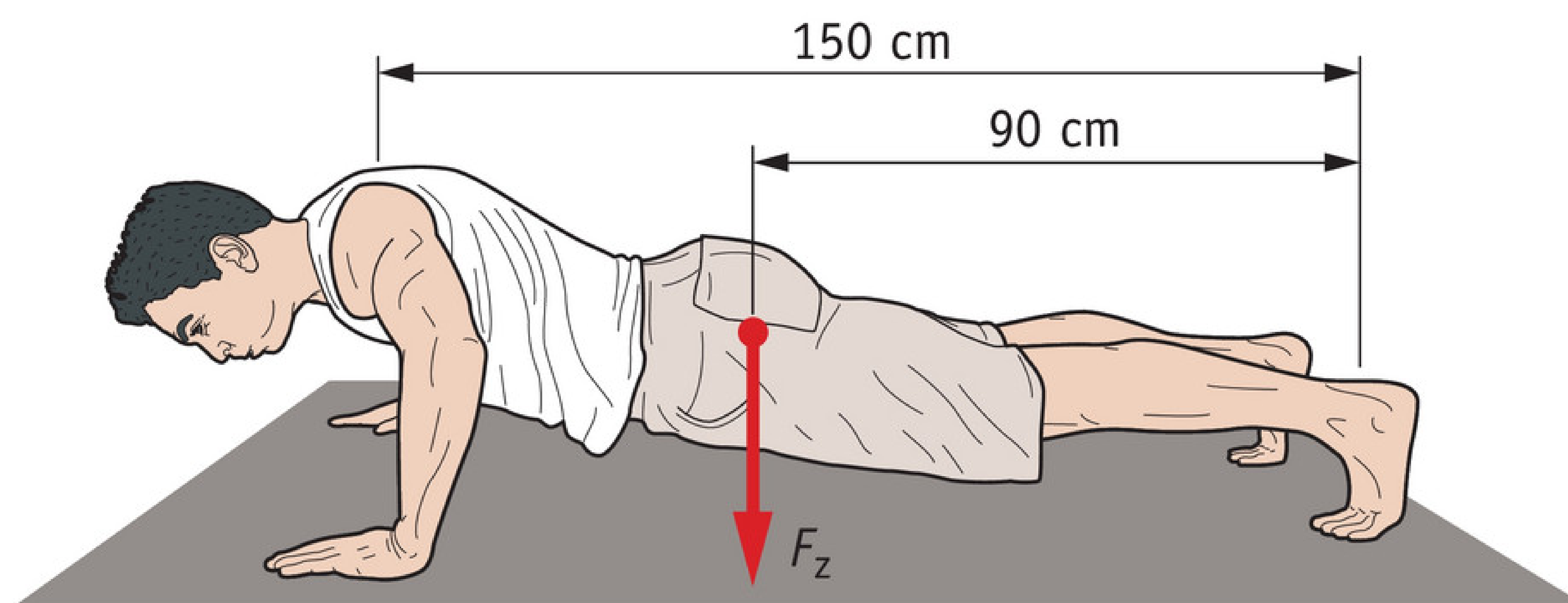


▲ **figuur 53** een plank in evenwicht

a Bepaal de kracht die Piet op het uiteinde moet uitoefenen om de plank in evenwicht te houden.
b Bereken de kracht die in draaipunt D op de plank werkt.

44 Fitness

Bart-Jan wil sterk en gespierd worden en daarom drukt hij zichzelf elke dag vijftig keer op. Vlak voor hij begint met opdrukken, gaat hij in de juiste houding liggen (figuur 54). De massa van Bart-Jan is 65 kg. Zijn zwaartepunt ligt op 90 cm van zijn tenen. Zijn handen raken de grond op 150 cm van zijn tenen.



▲ **figuur 54** Bart-Jan in training

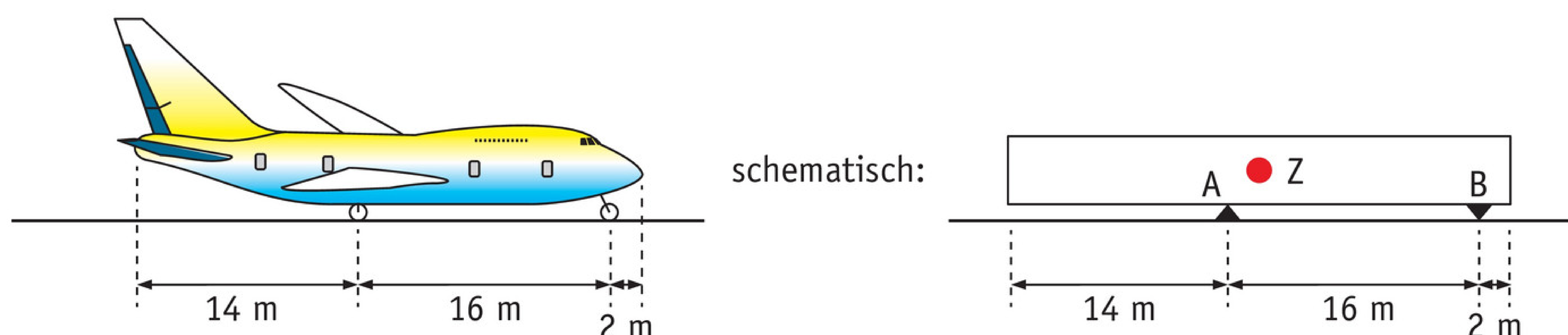
a Welk punt moet je als draaipunt kiezen als je de kracht op de handen met de hefboomwet wilt berekenen?

b Bereken de kracht die de grond op Bart-Jans handen uitoefent.

c De grond oefent ook nog kracht uit op zijn tenen.
Bereken hoe groot deze kracht is. Bedenk hierbij dat de resulterende kracht op Bart-Jan nul moet zijn.

45 Vliegtuig als hefboom

Een vliegtuig staat op de startbaan en tankt $6{,}0 \cdot 10^3$ kg brandstof. De totale massa van het vliegtuig na het tanken is $4{,}4 \cdot 10^4$ kg. Om een idee te krijgen van de belasting van het neuswiel is het toestel vereenvoudigd tot een balk, draaibaar om punt A (figuur 55). Neem aan dat het zwaartepunt Z precies halverwege de lengte van de balk ligt.



▲ **figuur 55** een vliegtuig

a Bereken de grootte van de kracht die in punt B verticaal omhoog moet worden uitgeoefend om de balk in evenwicht te houden.

b Bereken de grootte van de kracht die in punt A verticaal omhoog op het vliegtuig werkt.

46 Draagstok

Op het platteland van sommige Zuid-Aziatische landen worden af en toe nog draagstokken gebruikt voor transport (figuur 56). Een vrouw draagt met zo'n draagstok twee manden: in de linkermand zit een klein kindje, in de rechtermand liggen rijstplanten. De massa van de linkermand en het kindje samen is 15 kg.

a Bepaal de massa van de mand met rijstplanten met behulp van figuur 56. Verwaarloos de massa van de draagstok en de kracht die de vrouw met haar rechterhand op de draagstok uitoefent.



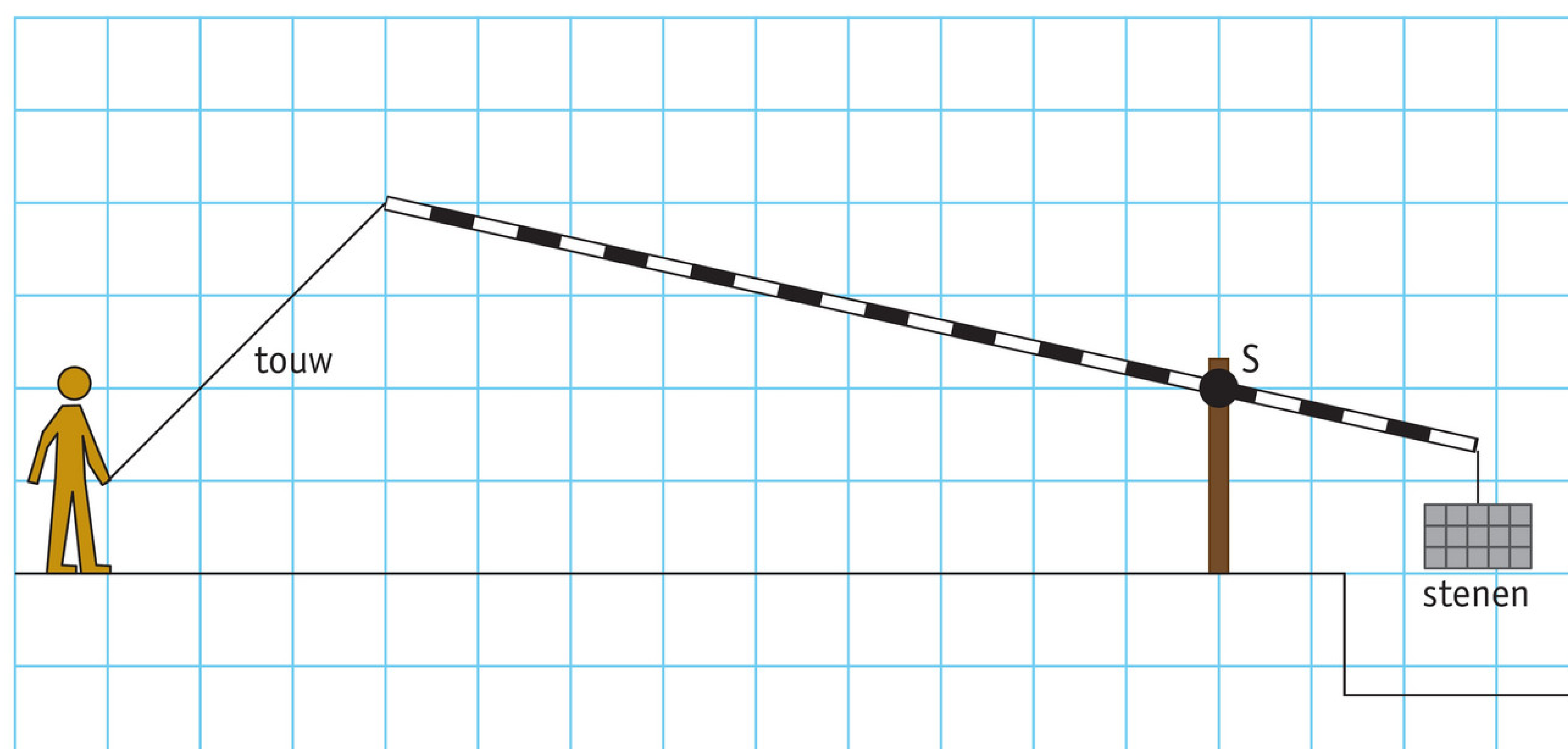
▲ **figuur 56** een draagstok

b In werkelijkheid oefent de vrouw een kleine kracht op de draagstok uit, verticaal omlaag. Beredeneer of de in opdracht a bepaalde massa van de mand met rijstplanten hierdoor groter of kleiner moet zijn.

naar: examen 2015-II

+47 Slagboom

Om een slagboom gemakkelijker te kunnen bedienen, is aan het rechteruiteinde als contragewicht een zak met stenen vastgemaakt (figuur 57). Aan het linkeruiteinde is een touw vastgemaakt waarmee de slagboom kan worden bediend. De slagboom is op schaal weergegeven. De slagboom is in evenwicht. Als het touw wordt losgelaten, gaat de slagboom omhoog.



▲ **figuur 57** een slagboom in evenwicht

a Ligt het zwaartepunt van de slagboom met contragewicht links of rechts van punt S of precies in punt S?

Het moment van de zwaartekracht op de slagboom met contragewicht ten opzichte van punt S is gelijk aan 69 Nm. De lengte van de slagboom is in werkelijkheid 6,20 m. Het moment van de spankracht in het touw zorgt voor evenwicht.

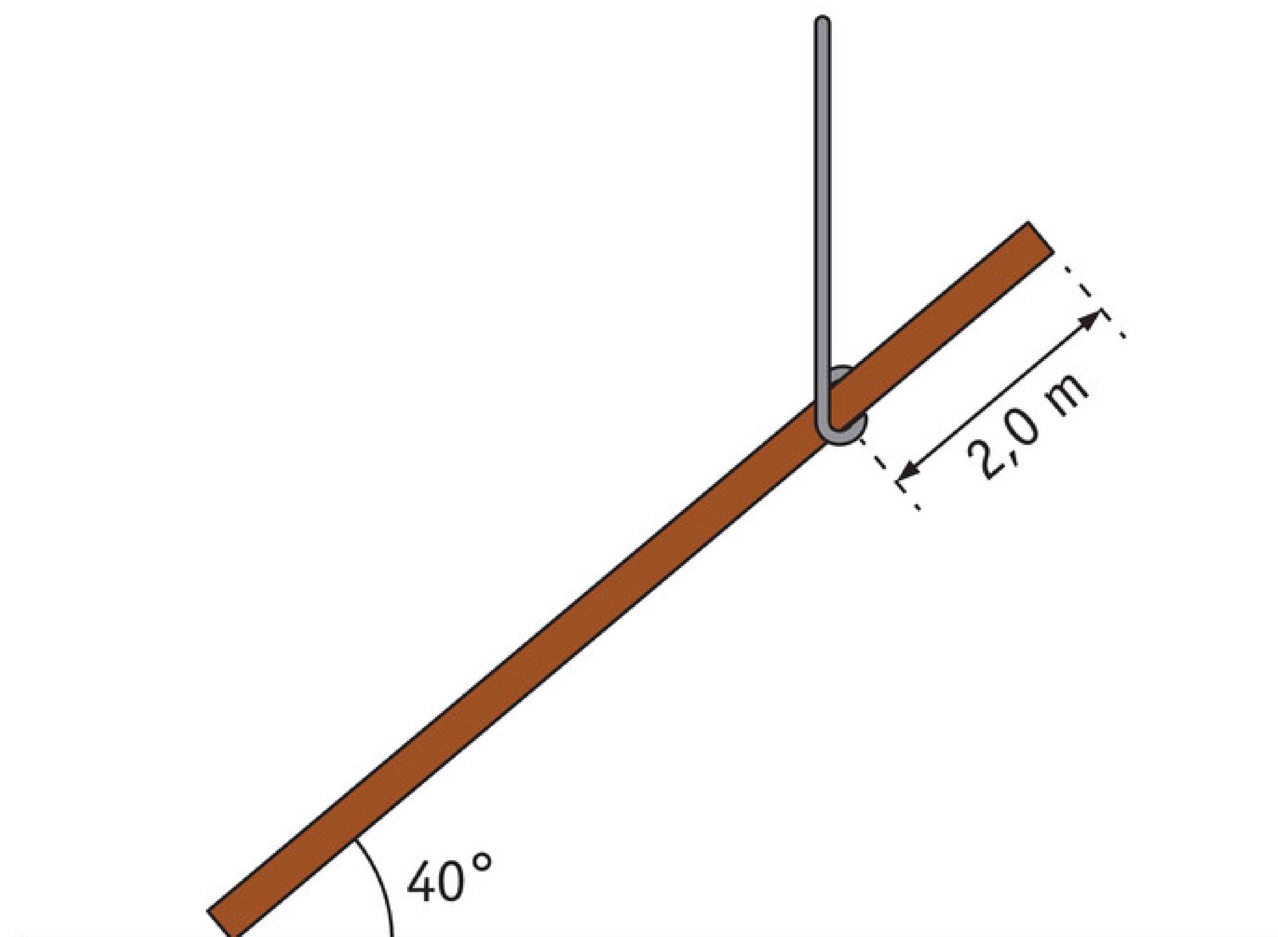
b Construeer in figuur 57 de arm van de spankracht ten opzichte van punt S.

c Bepaal de grootte van de spankracht.

naar: pilotexamen 2011-II

+48 Hijskraan

Een hijskraan tilt een 8,0 m lange paal waaraan een kabel is vastgemaakt aan één kant op. De andere kant van de paal rust op de grond (figuur 58). De massa van de paal is 700 kg.



▲ **figuur 58** een paal in evenwicht

a Bereken de kracht die de kabel in de getekende stand op de paal uitoefent.

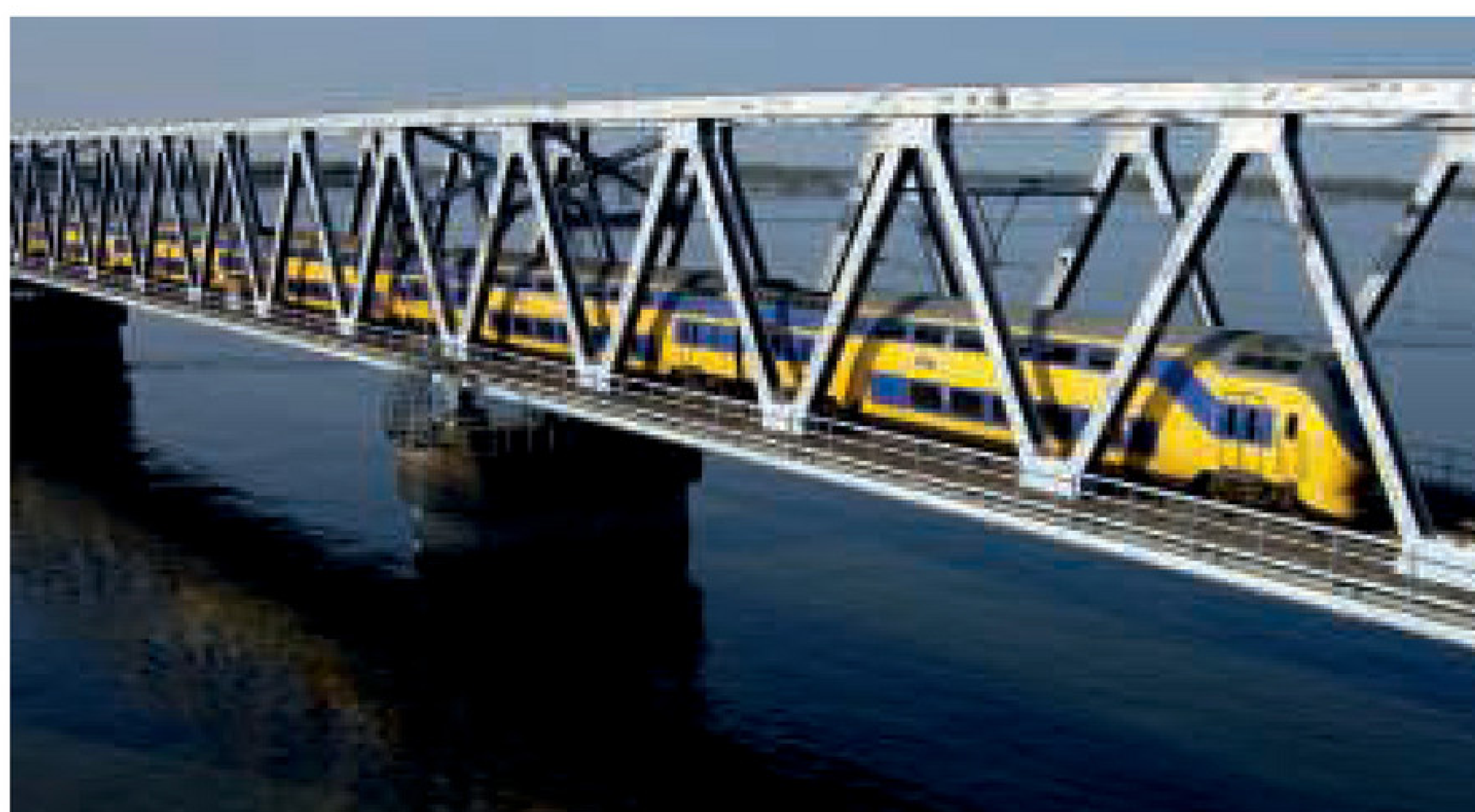
b Bereken de normaalkracht die de grond op de paal uitoefent.

c Even later maakt de paal een grotere hoek met de grond.
Leg uit of de kabel nu een kleinere, grotere of een even grote kracht moet uitoefenen op de paal om deze in evenwicht te houden.

Eindopdracht

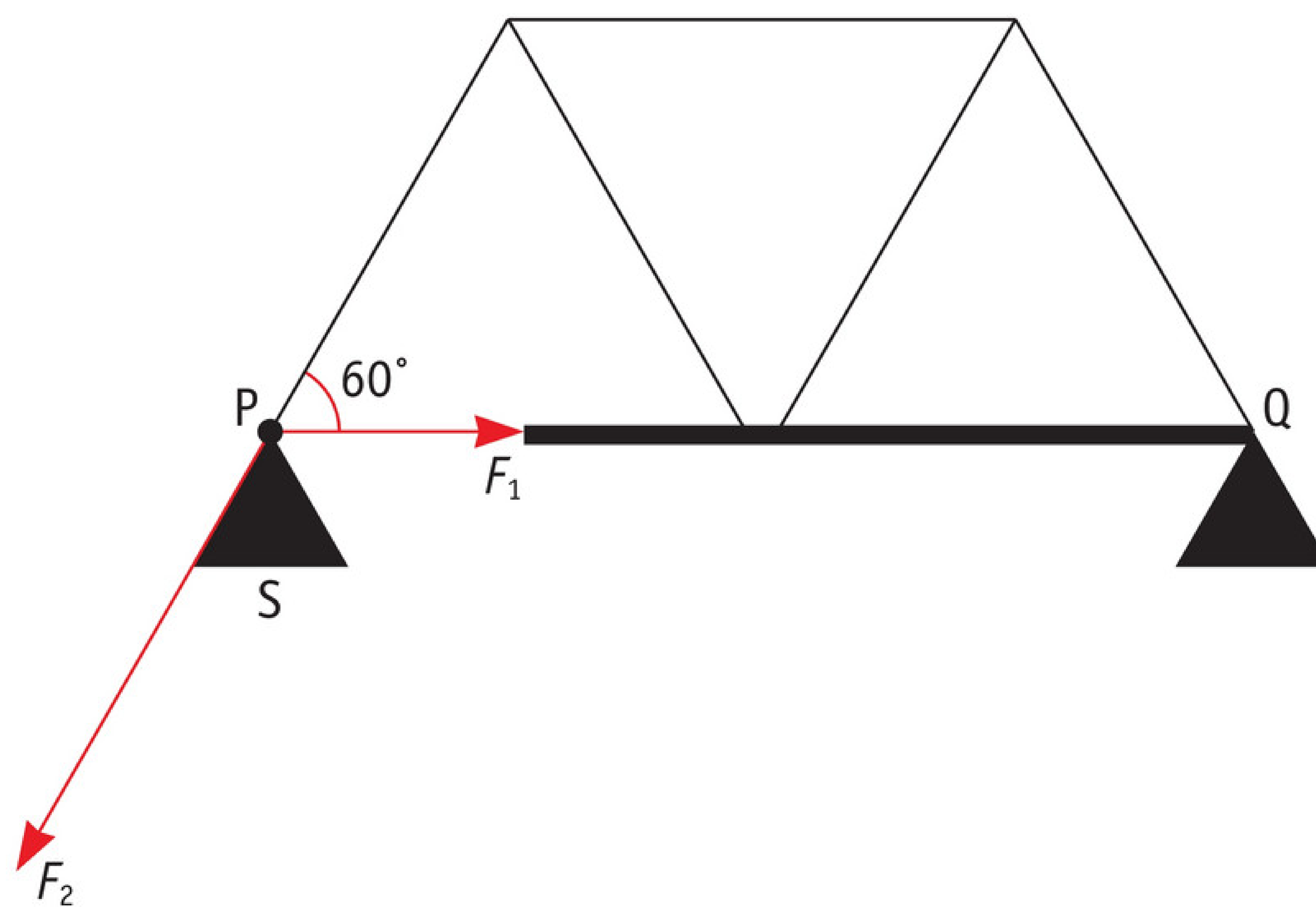
49 Spoorbrug

Spoorbruggen zoals de Moerdijkbrug (figuur 59) hebben vaak een overspanning om de brug steviger te maken.



▲ **figuur 59** de brug bij Moerdijk

In figuur 60 zie je een schematische voorstelling van een deel van de overspanning van een spoorbrug. Ook zie je twee krachten die op een punt P van het wegdeel PQ worden uitgeoefend. Door de speciale constructie van de overspanning werkt er een *trekkracht* F_1 van 90 kN en een *duwkracht* F_2 van 180 kN op punt P.



▲ **figuur 60** de overspanning van de brug

a Construeer in het krachtendiagram van figuur 60 de resultante (F_{12}) van F_1 en F_2.

Er werkt nog een derde kracht op punt P: de kracht (F_3) die het steunpunt (S) op P uitoefent.

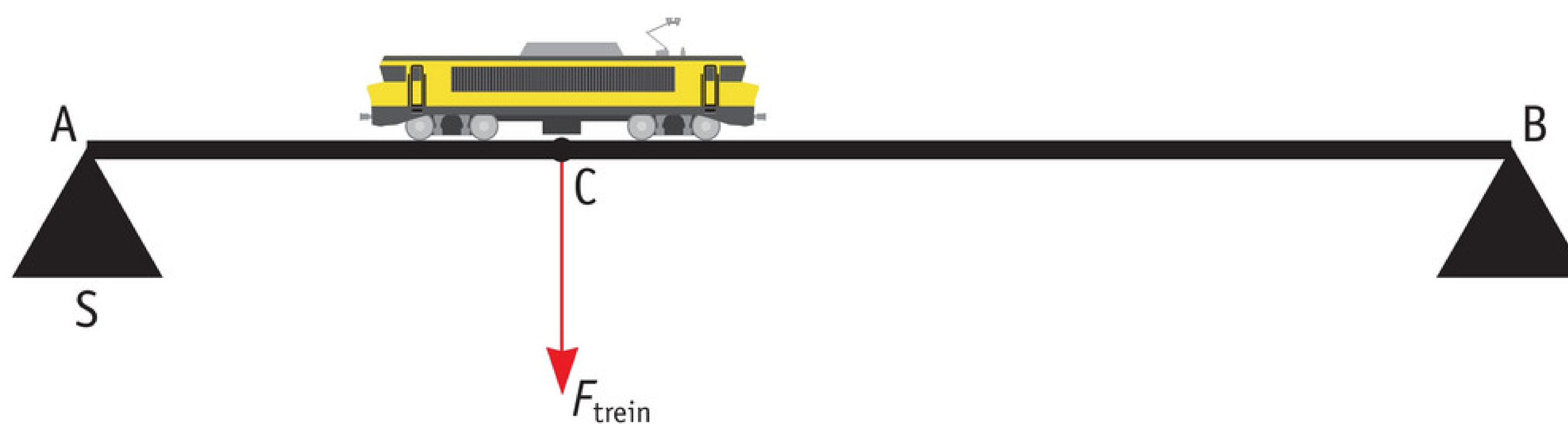
b Construeer deze kracht (F_3) in je tekening en bepaal de grootte van deze kracht. Bepaal daartoe eerst de krachtenschaal die in figuur 60 is gebruikt.

De grootte van kracht F_3 kun je ook *berekenen*: hij is gelijk aan de verticale component van F_2.

c Leg uit waarom F_3 gelijk is aan de verticale component van F_2. Ontbind daartoe F_2 eerst in een horizontale en verticale component.

d Bereken de verticale component van F_2. Vergelijk je antwoord met het antwoord op opdracht b. Verklaar eventuele verschillen.

Het laatste deel van de spoorbrug heeft geen overspanning. Dit deel is schematisch weergegeven in figuur 61 (samen met een passerende trein). De trein beweegt eenparig.



▲ **figuur 61** het laatste deel van de spoorbrug

e Hoe groot is de resulterende kracht op de trein?

In figuur 61 is schematisch ook de kracht (F_{trein}) weergegeven die de trein uitoefent op het wegdek AB. De afstand CB is 2× zo groot als de afstand AC. De massa van de trein is 130 ton; de massa van het wegdek mag je verwaarlozen.

f Bereken de kracht van het linkersteunpunt op punt A van het wegdek ten gevolge van de kracht F_{trein}. Kies hierbij punt B als draaipunt van de hefboom.

g Bereken de kracht van het rechtersteunpunt op punt B van het wegdek.

Maak de online diagnostische toets (Test jezelf).

7 Practicum

EXPERIMENT 1 Krachten op een karretje (onderzoekspracticum)

Inleiding
Je plaatst een karretje op een helling. Met een veerunster houd je het karretje in evenwicht. Vervolgens verander je de helling en bestudeer je de verandering in kracht die de veerunster meet.

Onderzoeksvraag
Wat is het verband tussen de hellingshoek en de kracht die een veerunster evenwijdig aan de helling uitoefent op een stilstaand karretje met een bekende massa?

Benodigdheden
plank van 1 m; statief en statiefklemmen; karretje; rolmaat; veerunster

Uitvoering
1 Bepaal de zwaartekracht (F_z) op het karretje met behulp van de veerunster.
2 Maak een tabel waarin je noteert: hoogte van de helling en kracht afgelezen op de veerunster.
3 Maak van de plank, statief en statiefklemmen een helling. Zorg ervoor dat de helling bij het statief een hoogte van 10 cm heeft.
4 Plaats het karretje op de helling en houd het in evenwicht met de veerunster.
5 Lees de veerunster af en noteer de afgelezen kracht (F_v) in de tabel.
6 Herhaal stap 4 en 5 voor nog vier verschillende hoogten in stappen van 10 cm.

Verwerking
1 Bereken met behulp van de hoogte en de lengte van de plank de hellingshoek α.
2 Bereken met behulp van de zwaartekracht en de gemeten kracht de hellingshoek α voor vier metingen en controleer de hoeken met je uitkomst bij opdracht 2.
3 Verklaar eventuele verschillen.
4 Maak een (F_v,α)-diagram.
5 Maak ook een diagram waarin je F_v uitzet tegen sin α.
6 Wat voor verband neem je waar in het diagram van opdracht 5?
7 Bepaal de helling van de grafiek uit opdracht 5 en leg uit dat deze helling gelijk moet zijn aan de zwaartekracht (F_z) op het karretje.
8 Verklaar eventuele verschillen.

Conclusie
9 Beantwoord de onderzoeksvraag.

EXPERIMENT 2 Krachten (onderzoekspracticum)

Inleiding
Het effect van krachten die op een voorwerp werken, is niet alleen afhankelijk van de grootte, maar ook van de richting van die krachten.
In dit experiment bekijk je twee touwen die een massa in evenwicht houden.

Onderzoeksvraag
Hoe verandert de kracht in de touwen als je de hoek tussen de touwen groter maakt?

Benodigdheden
rolmaat; twee statieven; statiefstang; twee veerunsters van 5 N; twee dubbelklemmen; twee klemmen met haak; set massa's van 260 g; touw met lussen (25 cm); kleine of grote geodriehoek

Uitvoering
- Controleer of de unsters onbelast op nul zijn ingesteld.
- Bouw de opstelling van figuur 62. Hang aan het midden van het touwtje dat tussen de veerunsters is gespannen een massa van 110 g. Door afstand l te veranderen, kun je hoek α een andere waarde geven.
- Onderzoek het verband tussen de krachten die de veerunsters uitoefenen (F_{unster}) en hoek α. Begin bij $\alpha = 0°$ en vergroot α bij elke volgende meting met 10°.
- Noteer je metingen in een duidelijke tabel.
- Herhaal de proef met de dubbele massa.



▲ **figuur 62** de meetopstelling van experiment 2

Verwerking

1 Gebruik de meetwaarden bij $\alpha = 30°$. Teken voor die situatie de krachten die op punt X werken als vectoren en bepaal de resulterende kracht (F_{res}). Kies een handige schaalwaarde voor de krachten en vermeld die bij je tekening.
2 Herhaal opdracht 1 bij $\alpha = 60°$.
3 Leg uit hoe groot F_{res} volgens de theorie zou moeten zijn.
4 Verklaar het verschil tussen de theoretische waarde van F_{res} en de resultaten van opdracht 1 en 2.
5 Teken met behulp van de meetresultaten in de tabel in één diagram de grafieken van $F_{unster\ 1}$ tegen α en van $F_{unster\ 2}$ tegen α als de massa 110 g bedraagt.
6 Teken in hetzelfde diagram de grafieken van $F_{unster\ 1}$ tegen α en van $F_{unster\ 2}$ tegen α als de massa 220 g bedraagt.

Conclusie

7 Beantwoord de onderzoeksvraag.

EXPERIMENT 3 Evenwicht (onderzoekspracticum)

Inleiding

Je wilt de massa van een houten liniaal bepalen, maar je hebt geen weegschaal tot je beschikking. Met behulp van een gewichtje, waarvan de massa bekend is, en gebruik van de hefboomwet is de massa van de liniaal te bepalen.

Onderzoeksvraag

Hoe groot is de massa van een houten liniaal?

Benodigdheden

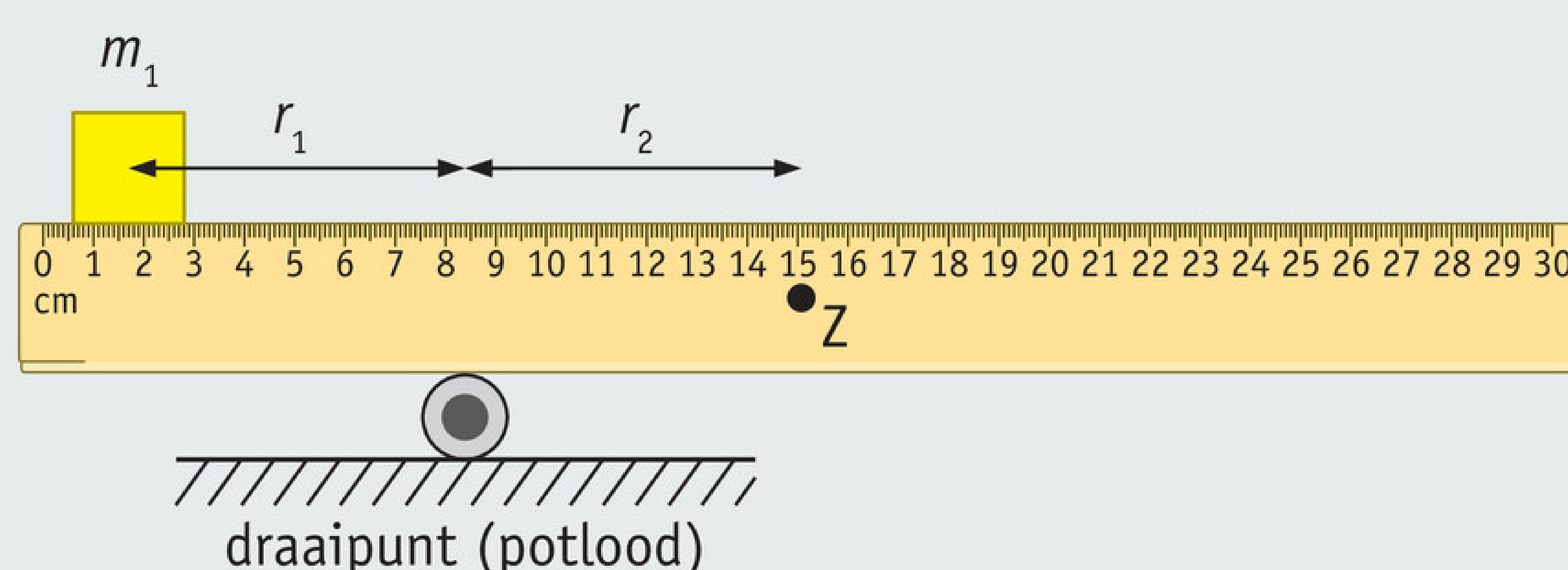
houten liniaal van 30 cm; een bekend gewichtje (50 g); potlood

Uitvoering

1 In figuur 63 is de proefopstelling weergegeven die je gaat gebruiken. Ga ervan uit dat het zwaartepunt Z van de liniaal precies in het midden van de liniaal ligt (op 15 cm van elk uiteinde dus). Het zwaartepunt van het gewichtje bevindt zich ook precies in het midden ervan.
2 Plaats het gewichtje op het uiteinde van de liniaal.
3 Maak evenwicht door de liniaal te verschuiven ten opzichte van het potlood.
4 Noteer de afstanden r_1 en r_2 in een tabel.
5 Schuif het gewichtje steeds een klein beetje (een paar cm) van het uiteinde af en herhaal stap 3 en 4 tot je (minimaal) vijf metingen hebt gedaan.

Verwerking

1 Maak een grafiek waarin je r_1 uitzet tegen r_2
2 Bepaal de helling $\frac{r_1}{r_2}$ van deze grafiek.



◀ **figuur 63** de meetopstelling van experiment 3

3 Toon aan dat de massa van liniaal volgt uit:

$$m_{\text{lineaal}} = \frac{r_1}{r_2} \cdot m_1$$

4 Bereken met het antwoord van opdracht 2 en 3 de massa van de liniaal.

Conclusie

5 Beantwoord de onderzoeksvraag.

ONDERZOEK Zwaartepunt van het menselijk lichaam

Inleiding
Niet alleen voorwerpen, ook het menselijk lichaam heeft een zwaartepunt. In dit onderzoek ga je dat zwaartepunt bepalen. Gebruik een weegschaal bij dit onderzoek.

Onderzoeksvraag
Waar ligt het zwaartepunt van het menselijk lichaam?

Praktisch
In dit onderzoek beschouw je je eigen lichaam als hefboom. Neem een positie aan als in figuur 54 (bij opdracht 44). Je armen plaats je hierbij op een weegschaal. Voer de metingen uit die nodig zijn om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Bedenk zelf nog een tweede manier waarmee je je zwaartepunt kunt bepalen, en voer dit onderzoek uit. Maak een verslag van het onderzoek waarbij je de werkwijze duidelijk beschrijft.

Conclusie
Beantwoord de onderzoeksvraag.

Antwoorden

Hier vind je de numerieke antwoorden op de vragen in het boek.
De volledige uitwerkingen staan in het uitwerkingenboek.

1 Beweging

Praktijk

2	**b**	$1{,}0 \cdot 10^{4}$ m
3	**b**	0,90 km
	c	44 s
4	**a**	8,87 m s^{-2}
	b	21 m s^{-1}
	c	26 m
+5	**a**	1,293 kg/m^{3}
	b	981 N
	c	$4 \cdot 10^{1}$ m s^{-1}
	d	5,4 m s^{-1}

Theorie

3	**a**	$1{,}23 \cdot 10^{-1}$
	b	$7{,}134 \cdot 10^{1}$
	c	$4{,}5 \cdot 10^{-2}$
	d	$7{,}8013 \cdot 10^{4}$
4	**a**	1,2 km s^{-2}
	b	$1{,}715 \cdot 10^{-3}$ kW
	c	$3{,}5 \cdot 10^{-2}$ ks
	d	$1{,}38 \cdot 10^{-1}$ kN
5		$9{,}205 \cdot 10^{6}$ J
6		1219 m
7	**a**	$2{,}4 \cdot 10^{3}$ kg m^{-3}
	b	$3{,}74 \cdot 10^{8}$ s
	c	273 K
	d	$2\,\pi \cdot r$
8		5,269 AE
12	**a**	0,5 km
	b	$5 \cdot 10^{4}$ W
	c	0,0005 s
	d	0,0005 mm
	e	0,05 °C
14	**a**	$7{,}2 \cdot 10^{-2}$ m
	b	$2{,}8 \cdot 10^{3}$ dm
	c	$2{,}01 \cdot 10^{-1}$ km
	d	$6{,}8 \cdot 10^{-1}$ m^{2}
	e	$2{,}00 \cdot 10^{8}$ cm^{3}
16		20 cm^{3}
19	**a**	$2 \cdot 10^{2}$ s
	b	2 m
20	**a**	$1{,}34 \cdot 10^{4}$ m
	b	$4{,}00 \cdot 10^{8}$ N
	c	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$ s
	d	$6 \cdot 10^{11}$ J
	e	$6{,}5 \cdot 10^{-8}$ m
	f	$4{,}0 \cdot 10^{8}$ W
21	**b**	8,2 dm^{3}
	c	2,3 dm
+22c		V_{max} = 106 m^{3} V_{min} = 98,0 m^{3}
24	**a**	20 m/s
	b	6,9 m s^{-1}
	c	$1{,}1 \cdot 10^{9}$ km/h
	d	$3{,}60 \cdot 10^{2}$ km h^{-1}
	e	59 km h^{-1}
25		3 m s^{-1}
26	**a**	$4 \cdot 10^{1}$ km h^{-1}
	b	$7{,}2 \cdot 10^{4}$ m
	c	$1{,}3 \cdot 10^{3}$ m
	d	18 km h^{-1}
	e	5,4 h
27	**a**	0,1386 h
	b	$2{,}6 \cdot 10^{2}$ s
	d	minimaal: $7{,}84 \cdot 10^{10}$ m maximaal: $3{,}78 \cdot 10^{11}$ m
28	**a**	110 m
	d	15 m
29	**b**	45 m
33	**a**	0,66 m s^{-1}
	b	10 m s^{-1}
	c	3,4 m s^{-1}
	d	6,3 m s^{-1}
35	**a**	2,8 m s^{-1}
	b	–1,7 m s^{-1}
	c	–1,4 m s^{-1}
	d	–2,7 m s^{-1}
36		81 km h^{-1}
37	**a**	3,6 m s^{-1}
	b	0,38 m s^{-1}
	c	–2,1 m s^{-1}
	d	0,63 m s^{-1}
39	**b**	25,00 m s^{-1}
	c	9,091 m s^{-1}
	d	–38 m s^{-1}
+40		7,0 km
+43		110 km h^{-1}
44	**a**	3,0 m s^{-2}
	b	2,1 m s^{-2}
	c	9,8 m s^{-2}
45	**a**	15 m s^{-1}
46	**a**	0,480 m s^{-2}
	b	t = 0 s: 4,0 m s^{-1} t = 20 s: 13,6 m s^{-1}
	c	250 m
47		$2{,}3 \cdot 10^{2}$ s
48	**b**	98 m s^{-1}
	c	103 m s^{-1}
+50c		0,50 m s^{-2}
	d	$a_{0,0}$: 3,1 m s^{-2} $a_{4,0}$: 0,41 m s^{-2} $a_{8,0}$: 0,20 m s^{-2}
53	**a**	28 m s^{-2}
	b	$4{,}5 \cdot 10^{5}$ m
54	**a**	1,7 m s^{-2}
	b	33 m
	c	12,4 s
55	**a**	6,4 m
	b	10 m
	c	4 m
56	**b**	5 mm
	c	11 mm
	d	2,0 m s^{-2}
57	**b**	7,8 m s^{-2}
	c	$1{,}6 \cdot 10^{3}$ m
	d	47 m s^{-1}
+59a		26 m s^{-1}
	b	$1{,}8 \cdot 10^{2}$ m
62		54 m
64	**b**	60,0 m
	c	–3,0 m s^{-2}
65	**c**	–30 m s^{-2}
	d	10 m s^{-2}
	e	$5{,}0 \cdot 10^{2}$ m
67		3,3 m hoog
68	**a**	3,8 m s^{-2}
69	**a**	24,3 m s^{-1}
+70a		auto 1: –3,7 m s^{-2} auto 2: –1,1 m s^{-2}
	b	auto 1: 67 m auto 2: 55,6 m
	c	5,6 s
	d	93 m
73	**a**	$1{,}357 \cdot 10^{3}$ km h^{-1}

d 8,50·10^5 m^3
e 58,8 m
f 4,3 m s^-1
g 65 m s^-1
h 302 m s^-1
i na 329 km

2 Elektriciteit

Praktijk

1 a 7,2·10^-3 A
c 0,460 A
3 a 80 A

Theorie

2 b 2,5·10^17
6 a 26
b 4,16·10^-18 C
c 26
d 3,20·10^-19 C
8 a 2,0·10^-2 A
b 5,0·10^4 V
c 1,40·10^-4 A
d 2,30·10^-1 kV
e 1,5·10^2 mA
9 b 12 V
10 a 5,7·10^-3 C
b 3,6·10^16
11 a 8 batterijen
c 9 V
12 a 40 C
b 10 C
c 33 mA
+13a 1,3 A
b 4,4·10^22 elektronen
d 1,4 Ah
f 39 600 s
15 1,5·10^-4 S
16 22 V
17 3,6 V
18 b 0,27 S
21 c 8,5·10^2 Ω
d 1,2·10^2 Ω
22 1,0·10^2 V
24 a A: 17·10^-9 m^2
d: 0,15 mm
b l: 5,1·10^4 m
d: 1,6 mm
c A: 1,3·10^-9 m^2
l: 1,0 m
d R: 12·10^-6 Ω
d: 0,15 m
e A: 50·10^-4 m^2
R: 13·10^-2 Ω
f 1,45·10^-9 m^2
25 a 2× zo klein
b 4× zo groot
c 2× zo groot
26 a 3,5·10^-3 Ω
27 a 1,8 mm
b 0,41 Ω
28 a 0,71 A
b I = 1,4 A
d 2,8 A
29 a 1,0 mm^2
b 1,1·10^-3 Ω
c 1,1·10^-5 V
30 a 2,5·10^12 Ω
b 9,2·10^-11 A
+31 1,7·10^3 °C
+32a 4,0 Ω
b 0,25 cm
35 b 4,5·10^-2 A
36 a 24 °C
38 a a = 5,0 cm: 6,3·10^2 Ω
a = 15 cm: 1,8·10^3 Ω
a = 25 cm: 4,7·10^3 Ω
a = 35 cm: 8,3·10^3 Ω
39 b 44 Ω
c 8,0 V
+40b 2,1·10^-5 m
c 6,5·10^-3 K–1
d 1,1·10^3 °C
42 a 70 Ω
b 0,11 A
c 3,4 V
d 0,014 S.
e 40 Ω
43 a 0,035 S
b 29 Ω
c 57 V
d 0,29 A
e 0,025 S
44 a 9,2 V
b 30,8 V
c 1,2 A
d 0,050 S
e 0,065 S
45 a 143 mA
b 39 mA
c 6,5·10^-3 S
46 b 19 m
c 1,8·10^3 Ω
47 a 0,60 m
b 8,3 A
c 0,17 V
48 a 2,2·10^2 Ω
+49a 455 Ω
b 6,4·10^-2 A
c 1,6 V
d 8,8·10^-2 A
52 a 3,5 W
b 0,015 A
53 a 33,1 Ω
b 1,1 m
55 b 2,6·10^18 elektronen
c 5,0 W
d 99 h
e 3,6 mm
f 0,049 A

3 Krachten

Praktijk

1 a 1,2·10^2 kg
b 1,1·10^2 N
c 6,4 N

Theorie

3 a 1,2·10^2 N
b 1,0 cm ≙ 20 N
4 0,15 m
5 a 1,08·10^3 N
b 178 N
c 178 N
6 6,2·10^2 kg
10 a F_1: 4,1·10^2 N
F_2: 3,0·10^2 N
b 5,0·10^2 N
c 37°
d 37°
12 a Tekening a:
F_{res}: 6,2 N; richting:
F_{res} maakt een hoek van 117° met F_3
Tekening b:
F_{res}: 30 N; richting: omhoog
Tekening c:
F_{res}: 79 N; richting:
F_{res} maakt een hoek van 63° met F_2
c Tekening a: F_{extra} = 6,2 N tegengesteld gericht aan F_{res}

Tekening b: F_{extra} = 30 N tegengesteld gericht aan F_{res}, dus omlaag
Tekening c: F_{extra} = 79 N tegengesteld gericht aan F_{res}

13 b 18 N
c 34°
+14a 0,44 N
d 0,509 N
e 120°
17 a F_x: 19 kN
F_y: 16 kN
b F_x: $19 \cdot 10^3$ N
F_y: $16 \cdot 10^3$ N
18 c $7{,}6 \cdot 10^2$ N
d $2{,}8 \cdot 10^2$ N
19 b F_z: 0,040 N
F_N: 0,036 N
F_w: 0,017 N
20 a ≙ $7 \cdot 10^1$ N
30 a 2,5 m s^{-2}
b 38 m s^{-1}
c 38 m s^{-1}
31 a 3,0 m s^{-2}
b $9{,}0 \cdot 10^2$ kg
c 0 N
32 a 20 N
b 20 N
c 20 N
d 20 N
e 14 N
f 26 N
g 26 N
33 a –0,67 m s^{-2}
b 15 s
34 a 1,1 m s^{-2}
b 1,1 m s^{-2}
35 b $0{,}9 \cdot 10^2$ N
c 2,1 m s^{-2}
38 $5{,}9 \cdot 10^2$ N
42 $1{,}5 \cdot 10^3$ N
43 a 3,0 N
b 3,0 N (naar boven gericht)
44 b $3{,}8 \cdot 10^2$ N
c $2{,}6 \cdot 10^2$ N
45 a $5{,}4 \cdot 10^4$ N
b $38 \cdot 10^4$ N
46 a 10 kg
+47 15 N
+48a $4{,}58 \cdot 10^3$ N
b $2{,}29 \cdot 10^3$ N
c $2{,}29 \cdot 10^3$ N
49 b $1{,}6 \cdot 10^2$ kN (naar boven gericht)
c $1{,}6 \cdot 10^2$ kN (naar boven gericht)
d 156 kN
f 85,3 MN
g 42,7 MN

Register

Z

Colofon

Auteurs
Rick Cremers
Louis Lenders
François Molin

Eindredactie
Emile Verstraelen

Met medewerking van
Fons Alkemade
Bart-Jan van Lierop

Ontwerp
Uitgeverij Malmberg, 's-Hertogenbosch

Foto omslag
Shutterstock / Maximusmeridi

Opmaak
Nieuwe Stijl, Den Haag

Opmaak Release
Pointer grafische vormgeving, Geldrop

Beeldverwerving
B en U International Picture Service, Amsterdam

Illustraties
Erik Eshuis Infographics, Groningen:
p. 7 o, 62, 119 b, o
Herman Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam:
overige illustraties

Foto's
Imageselect, Wassenaar: p. 8, 109 o, 122 b
Shutterstock: p. 8 b, 9 b, 10 l. 64. 65 l, r, 67 l, 106, 109 lb, rb, 121 b
Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: p. 8 o, 90 lo
Getty Images: p. 61, 117, 124, 125
Hollandse Hoogte, Den Haag: p. 68 lo, 107 lb, 121 o, 162
Visual Photo Design, Weurt: p. 70, 87 l, m, r, 147, 165
Fresh Images / BSR Agency, Haarlem: p. 75
Sinar AG: p. 107 rb
Canstockphoto: p. 120
123RF: p. 121 m
Reuters / ANP Foto, Den Haag: p. 128 o
Eurofysica: p. 127
Examen HAVO 2013-2: 152 b
Examen HAVO 2014-2: 152 o (3x)
Examen HAVO 2015-2: 161

ISBN: 978 94 020 6873 3
Release 2021, eerste oplage

MALMBERG


Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.


Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.


Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

AUTEURS
Rick Cremers
Louis Lenders
François Molin

EINDREDACTIE
Emile Verstraelen

MET MEDEWERKING VAN
Fons Alkemade
Bart-Jan van Lierop



ISBN 978 94 020 6873 3
596133

MALMBERG